

Ingeniørgeologisk analyse av resultater fra tunneldriving basert på "Drill & Split" ved Follobanen

Torfinn Konow Weydahl

Geologi

Innlevert: mai 2018

Hovedveileder: Bjørn Nilsen, IGP

Medveileder: Hanne Wiig Sagen, Bane NOR

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for geovitenskap og petroleum



MASTEROPPGAVE

Prosjektbeskrivelse

Kandidatens navn: Torfinn Konow Weydahl

Oppgavens tittel: INGENIØRGEOLOGISK ANALYSE AV RESULTATER FRA TUNNEL-
DRIVING BASERT PÅ «DRILL & SPLIT» VED FOLLOBANEN

English title: Engineering geological analysis of tunnel excavation results based on «Drill & Split» at Follobanen

Utfyllende tekst:

1. For nordre del av Follobanen utføres vesentlige deler av tunneldrivingen som «Drill & Split» (D&S). Som oppfølging av forstudier utført av annen student i prosjekt- og masteroppgave 2014-2015, med fokus på anvendbarheten for D&S, skal det i denne masteroppgaven gjennomføres en systematisk analyse av sammenhengen mellom inndrifter oppnådd ved D&S og relevante ingeniørgeologiske parametre. Inndriftsdata og resultater fra ingeniør-geologisk kartlegging vil bli gjort tilgjengelig for relevante deler av tunnelene av Bane NOR, som ved videre tunneldriving også vil sørge for å legge til side et representativt utvalg steinprøver. Kartlegging og prøve-taking, i tillegg til relevante laboratorieanalyser av innsamlede bergartsprøver, skal også utføres av kandidaten som del av denne masteroppgaven. Mulige korrelasjoner med oppnådde inndrifter skal undersøkes og analyseres for et utvalg ingeniørgeologiske parametre, som:

- Bergartstype, -karakter (inkl. forvittringsgrad), -styrke og -anisotropi, basert f.eks. på punktlasttesting.
- Sprekkekaraktistika, som oppsprekningsgrad, sprekkelengde/kontinuitet, sprekkeretninger etc .
- Bergmassekvalitet, uttrykt f.eks. ved Q-, RMR- og/ eller R_{Mi}-parametre.

Oppnådde resultater fra D&S driving skal avslutningsvis sammenlignes med prognosene som ble utarbeidet i 2015- masteroppgaven, og anvendbarheten av de numeriske analysene skal diskuteres ut fra dette.

2. Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Bane NOR med ingeniørgeolog Hanne Wiig Sagen som kontaktperson og ekstern medveileder.

Studieretning: Geologi
Hovedprofil: Miljø- og geoteknologi
Tidsrom: 6.2.2017-15.05.2018

Sammendrag

De siste årene har det vært et stort fokus på å utbedre samferdselssystemet og forkorte reisetiden inn og ut av Oslo. Som en del av Østfoldbanen sør for Oslo bygges Follobanetunnelen svært nærme eksisterende konstruksjoner som veitunneler og andre underjordiske anlegg i Ekebergåsen. Det er krav til å holde rystelser på et lavt nivå under tunneldrivingen for å ikke påføre skade på disse. Oppgaven fokuserer på anvendbarheten til Drill & Split, en metode som forsiktig bryter løs fjellet, som benyttes i stedet for sprengning.

Metoden Drill&Split er en lite brukt metode i dette omfanget. Det derfor er interessant å undersøke om det er en sammenheng mellom hvor stor inndriften på tunnelen er, og ingeniørgeologiske parametere som bergmassekvalitet, bergartstype og oppsprekking. Det er også sett på anvendbarhet av numeriske analyser utført av tidligere masterstudent.

Det er blitt behandlet og visualisert resultater fra drivingen for å kunne se korrelasjoner mellom inndrift og kartlagte ingeniørgeologiske parametere. Bergartsprøver er blitt hentet ut og det er kartlagt inne i tunnelen der det er Drill&Split aktivitet. Det er gjort bergtekniske laboratorietester på bergartsprøvene: Enaksial trykktest og punktlasttest. Av en tidligere masterstudent er det gjort en ingeniørgeologisk vurdering av anvendbarheten av Drill&Split på Follobaneprosjektet. Hans resultater er vurdert opp mot erfaringer fra driving

Undersøkelsene gjort i denne oppgaven har ikke gitt noen klare sammenhenger, bare antydninger til korrelasjoner. Disse antydningene er at mer mineralfyll i sprekker gir økt inndrift, høyere grad av styrkeanisotropi kan gi økt inndrift, og mer oppsprukket fjell gir økt inndrift.

Erfaringene med Drill & Splitt har vært gode. Det gir et bra resultat der konturen blir fin og rystelsene er lave, men det tar lang tid. Resultatene som kommer frem i denne oppgaven viser hvilke geologiske forhold som kan være gunstige. Der de geologiske forholdene har ligget til rette går framgangen i tunneldrivingen raskere. Sprengning er fortsatt såpass mye mer effektivt at det bør brukes på deler eller hele tunnelprofilet der det er mulig. Anvendbarheten av de numeriske analyse er ikke tydelige, men prognosene om hvordan splitting ville skje på prosjektet har vært gode.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som en del av et toårlig masterprogram i Geologi med hovedprofil Miljø- og geoteknologi. Dette er gjort Institutt for geovitenskap og petroleum ved NTNU.

Feltarbeid ble gjort gjennom sommerjobb på Follobaneprojektet, entreprise D&B, sommeren 2017. Utførelse av laboratorietester og skriving av oppgaven er gjort i løpet av skoleåret 2017/2018. Oppgaven teller 60 studiepoeng.

Jeg vil gjerne takke hovedveileder og professor Bjørn Nilsen, NTNU for god veiledning og svar på alt jeg har lurt på. Jeg vil også takke min medveileder i Bane NOR, Hanne Wiig Sagen. Gunnar Visnes, overingeniør på NTNU har vært til god hjelp med veiledning på bergmekanisk laboratorium. Takk til de jeg jobbet med på Follobaneprojektet som var behjelpelig med masteroppgaven, spesielt Kontrollingeniør Helene Andersen som har hjulpet med informasjon, kilder og utførelser av feltarbeid. Til slutt vil jeg takke Marcus Fritzøe Lawton i Bane NOR og Arnt Helge Åbø i AF Gruppen, som har hjulpet med informasjon fra D&S på TBM.

Torfinn Konow Weydahl

NTNU, Trondheim

Mai 2018

Innholdsliste

Sammendrag	iii
Forord	v
Figurliste	x
Tabelliste	xiii
Forkortelser	xiv
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	4
2 Grunnlagsmateriale, utførte undersøkelser	5
3 Beskrivelse av prosjektområdet	7
3.1 Ingeniørgeologiske forhold på prosjektet/Områdebeskrivelse	7
3.2 Follobaneprosjektet	11
3.3 utfordringer på delprosjektet Drill & Blast	12
3.4 Kort om drivemetoden Drill & Split	16
4 Egne undersøkelser	18
4.1 Prøvetaking/Felt	18
4.2 Sprekkekarakteristika	22
4.2.1 Oppsprekingsgrad/sprekkelengde	22
4.2.2 Sprekkeretninger	23
4.3 Lab - Preparering av prøver	24
4.4 Lab - Punktlasttest	26

4.4.1	Utførelse	26
4.4.2	Resultat	30
4.4.3	Tolkning av resultater	31
4.5	Lab -Enaksial trykktest	33
4.5.1	Utførelse	33
4.5.2	Resultat	35
4.5.3	Tolkning av resultater	38
4.6	Oppsummering av bergartsprøvens ingeniørgeologiske parameter	39
4.6.1	OF1879	39
4.6.2	IF1861	40
4.6.3	IF1858	40
4.6.4	IF1854	41
4.7	Andre anvendelsesområder	42
4.7.1	Drill&Split i tverrforbindelse på EPC TBM.	42
4.7.2	Splitting med borerigg	44
4.7.3	Splitting for hånd	46
<u>5</u>	<u>Erfaringer og resultater fra driving</u>	<u>47</u>
5.1	Inndrift	47
5.2	Et godt resultat	49
5.3	Utfordringer	49
<u>6</u>	<u>Analyse av sammenhengen mellom inndrifter oppnådd ved D&S og relevante ingeniørgeologiske parametere.</u>	<u>50</u>
6.1	Korrelasjon mellom inndrifter og sprekkekarakteristikk	50
6.2	Korrelasjon mellom inndrifter og bergmassekvalitet	53
6.2.1	Inngående Follobane	54
6.2.2	Utgående Follobane	56
6.2.3	Inngående Østfoldbane	57
6.2.4	Ukesinndrift basert på dagsrapporter	58

6.3	Korrelasjon mellom inndrifter og ingeniørgeologiske parametere	59
6.3.1	Punktlaststyrke	59
6.3.2	Styrkeanisotropi	60
6.3.3	Trykkstyrke	61
6.4	Feilkilder	62
<u>7</u>	<u>Analyse av tidligere prognoser</u>	<u>63</u>
7.1	Sammenligning mellom oppnådde D&S resultater og numeriske analyser	63
7.2	Sammenligning mellom forundersøkelser og egne undersøkelser	66
<u>8</u>	<u>Konklusjon</u>	<u>67</u>
<u>9</u>	<u>Referanseliste</u>	<u>69</u>
Vedlegg J	Sammenstillinger av inndrifter (NFF, 2016)	93
Vedlegg J-1	Inndrift, begmassekvalitet og tidsforbruk ved 85 m ² tunnelprofil, IOL sør	93
Vedlegg J-2	Inndrift plottet mot ukenummer for søndre adkomsttunnel	93
Vedlegg K	Plott for D&S tidsbruk og bergmasseegenskaper (Lawton, Andersen, Sagen, & Jansen, 2017)	94
Vedlegg K-1	Tidsbruk D&S per meter inndrift satt opp imot Q-verdi	94
Vedlegg K-1	Tidsbruk D&S per meter inndrift satt opp imot oppsprekkingsgrad	94
Vedlegg K-1	Tidsbruk D&S per meter inndrift satt opp imot sprekkefylling	94
Vedlegg L	Redusert profil under Alna og E6, IFL 1912 (Condotte)	95
Vedlegg M	Stuff fra søndre adkomsttunnel (NFF, 2016)	95
Vedlegg N	Data fra kartleggingsrapportene	96
Vedlegg N-1	Tabell for kartlegging på IFL	96
Vedlegg N-2	Tabell for kartlegging på OFL	100
Vedlegg N-3	Tabell for kartlegging på IOL	104
Vedlegg N-4	Tabell for tunnelprogresjonsrapporter fra IOL	107
Vedlegg O	Geologisk kartlegging fra IFL pel 1866-1854 (Condotte)	109

Figurliste

Figur 1 Oversikt over jernbaneprojektet InterCity (modifisert fra (BaneNOR, 2018b)).....	1
Figur 2 D&S på Follobanen (Foto: T. K. Weydahl, 2017)	2
Figur 3 Geologisk kart over Oslofeltet (modifisert fra (Fossen, 2008))	3
Figur 4 Oversikt over kjerneborhull gjort ved påhugget (Jernbaneverket, 2013).	8
Figur 5 (øverst) Sprekkemålinger fra forundersøkelsene slått sammen til en sprekkerose (Jernbaneverket, 2013). (underst) Sprekkeroser fra geologiske kartlegginger i Inngående Østfoldbane nord, Inngående Østfoldbane sør og søndre adkomsttunnel (NFF, 2016c).	9
Figur 6 Follobaneprojektet med entreprisene 1) Civil Oslo S, 2) EPC D&B, 3) EPC TBM, 4) EPC Ski (NFF, 2016a)	11
Figur 7 Den komplekse infrastrukturen i Ekebergåsen (NFF, 2016a).	12
Figur 8 . Oversikt over tunnelelementene i EPC D&B. 1) Tresporshallen, 2) Inngående Østfoldbane, 3) Inngående og Utgående Follobane, 4) adkomsttunneler og tekniske rom, 5) Alnaelva, 6) Ekeberg tunnelene og Grønnliatunnelen, 7) Ekeberg Oljelager med rømningstunne (NFF, 2016a)	14
Figur 9 Oversikt over hvor metoden D&S er brukt og brukes (vedlegg B).....	15
Figur 10 Superwedge montert på graver (Foto T.K. Weydahl, 2017).	16
Figur 11 Splitting av et hull i to omganger der berget bryter mot fri flate (NFF, 2016a).....	17
Figur 12 Lokalteter for bergartsprøver (redigert fra status tegning, Bane NOR).	19
Figur 13 Bergartsprøve IF1861.	20
Figur 14 Bergartsprøve IF1858.	20
Figur 15 Bergartsprøve IF1854.	21
Figur 16 Figur. Bergartsprøve OF1879.	21
Figur 17 Massivt fjell med sprekkavstand på 40 cm (Foto: T. K. Weydahl).	22
Figur 18 Sprekkeroser for IFL 1856 og IFL 1852.	23
Figur 19 Kjerner av bergartsprøver klare til enaksial trykktest.....	24

Figur 20 Bergartsprøven fra IF1861 gikk lett fra hverandre under kjerneboringen.....	25
Figur 21 Apparatet brukt til punktlasttesting (Foto: T. K. Weydahl).	26
Figur 22 Gjennomsnittlig punktlaststyrke med standardavvik.	30
Figur 23 Kjerneprøve montert i bergpressen (Foto: T. K. Weydahl).....	33
Figur 24 Resultat for enaksial trykktest. Aksial spenning (x-akse) mot tøyningen (y-akse) for seks prøvestykkeker.	35
Figur 25 IF1854#2 Langsgående splitting. Eller enkelt skjærbrudd.	36
Figur 26 Kjerneprøve OF1879#3 med knust nedre halvdel.	37
Figur 27 OF1879 breksjert gneis.	39
Figur 28 IF1861 granodiorittisk pegmatitt fra punktlasttesting.	40
Figur 29 IF1858 granittisk gneis.	41
Figur 30 IF1858 diorittisk gneis fra punktlasttesting.	41
Figur 31 Borplan for splitting av tverrforbindelse. 3 tre etapper, sett fra siden (Redigert fra (Åbø, 2018)).	42
Figur 32 Borplan for splitting av tverrforbindelse (Åbø, 2018).....	43
Figur 33 Borerigg med splittere (Foto: Bane NOR).....	45
Figur 34 Borerigg med splittere (Foto: Bane NOR).....	45
Figur 35 Splitting med kiler og slegge ved Søndre portal (Foto: T. K. Weydahl, 2017).....	46
Figur 36 Åpning av kutt med bruk av boret slisse (Jernbaneverket, 2016)	48
Figur 37 Inndriftsdata fra inngående Follobane satt opp mot sprekkeorientering.	50
Figur 38 Inndriftsdata fra Utgående Follobane satt opp mot sprekkeorientering.	51
Figur 39 Inndriftsdata fra inngående Østfoldbane satt opp mot sprekkeorientering.....	51
Figur 40 Inndrift plottet mot Q' , RQD/J_n og J_n/J_a for kryssingen av Ekeberg tunnelene.....	53
Figur 41 Inndriftsdata fra Inngående Follobane satt opp mot bergmassekvaliteten i området mellom pel 1918 og 1846.....	54

Figur 42 Sprekkesett med leirfylling (vedlegg D-4).	55
Figur 43 Inndriftsdata fra Inngående Follobane satt opp mot bergmassekvaliteten i området mellom pel 1888 og 1820.	56
Figur 44 Inndriftsdata fra Inngående Østfoldbane satt opp mot bergmassekvaliteten i området mellom pel 1777,6 og 1725,5.	57
Figur 45 Inndriftsdata fra IOL sør.	58
Figur 46 Diagram der inndriften er satt opp imot bergartsprøvens punktlastindeks.	59
Figur 47 Diagram der inndriften er satt opp imot bergartsprøvens styrkeanisotropi.	60
Figur 48 Diagram der inndriften er satt opp imot bergartsprøvens enaksiale trykkstyrke.	61
Figur 49 Første trinn i modellen der splitterkilen pålaster 10 MPa trykk på sidene av borhullsveggen.	64

Tabelliste

Tabell 1 Utdrag fra bergmekaniske tester utført i forbindelse med forundersøkelser (Jernbaneverket, 2013)	10
Tabell 2 Klassifikasjon av punktlaststyrke (Is) (NGB & NFF, 2000).	27
Tabell 3 Klassifisering av anisotropi for bergarter (NGB & NFF, 2000).	28
Tabell 4 Anbefalte verdier for korreksjonsfaktor (NGB & NFF, 2000).	29
Tabell 5 Resultater fra punktlasttesting.	30
Tabell 6 Klassifisering av enaksial trykkstyrke (NGB & NFF, 2000).	34
Tabell 7 Oppsummering av bergartsprøve OF1879.	39
Tabell 8 Oppsummering av bergartsprøve IF1861.	40
Tabell 9 Oppsummering av bergartsprøve IF1858.	40
Tabell 10 Oppsummering av bergartsprøve IF1854.	41
Tabell 11 Sammenligning av sprekkesett kartlagt av entreprenør og forfatter.	52
Tabell 12 Ingeniørgeologiske parametere testet på laboratorium.	59
Tabell 13 Utvalg av labresultater fra forundersøkelser og egne undersøkelser.	66

Forkortelser

NTNU Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

D&B Drill and Blast/boring og sprengning

D&S Drill and Split/boring og splitting

IFL Inbound Follo Line/inngående Follobane

OFL Outbound Follo Line/utgående Follobane

IOL Inbound Østfold Line/inngående Østfoldbane

UCS Uniaxial compressive strength/enaksial trykkstyrke

PLT Punktlasttest

K1/S1 Joint Set/Sprekkesett

Pel Pelnummer; sted på jernbanestrekningen målt i meter fra start

ISRM International Society for Rock Mechanics

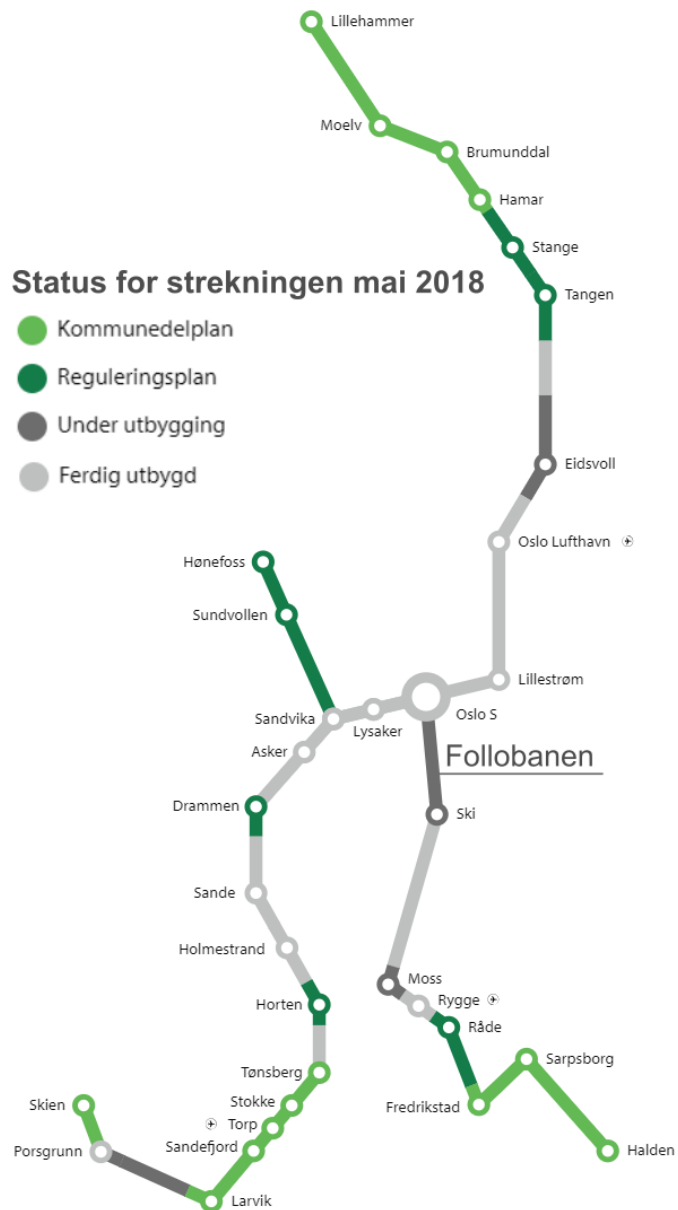
TBM Tunnel Boring Machine/Tunnelboremaskin

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Det vil alltid være behov for å forbedre samferdselsnettverket i Norge. En av storsatsingene som foregår nå er InterCity utbyggingen. Dette er jernbanenettverket rundt Oslo med Lillehammer, Hønefoss, Skien og Halden som ytterpunkter (figur 1). Bane NOR skal innen 2034 bygge 270 kilometer nytt dobbeltspor. Denne satsningen gir halvannen million innbyggere kortere reisetider og flere avganger (BaneNOR, 2018b). Mellom Oslo og Ski blir det nå bygget nye jernbanespor som går under navnet Follobanen, som er en del av Østfoldbanen til Halden. Dette omfatter blant annet en 20 km lang tunnel som er det lengste i Norden når den blir ferdig i 2021. Mesteparten drives med tunnelboremaskiner, men siste delen av tunnelsystemet inn mot Oslo drives med konvensjonell boring og sprengning. Dette er et utfordrende område med nærliggende infrastruktur som krever lav grad av rystelser. Som et alternativ til sprengning er det derfor blitt bestemt å benytte metoden boring og splitting, også kalt Drill & Split, eller bare D&S (Figur 2).

Figur 1 Oversikt over jernbaneprojektet InterCity (modifisert fra (BaneNOR, 2018b)).

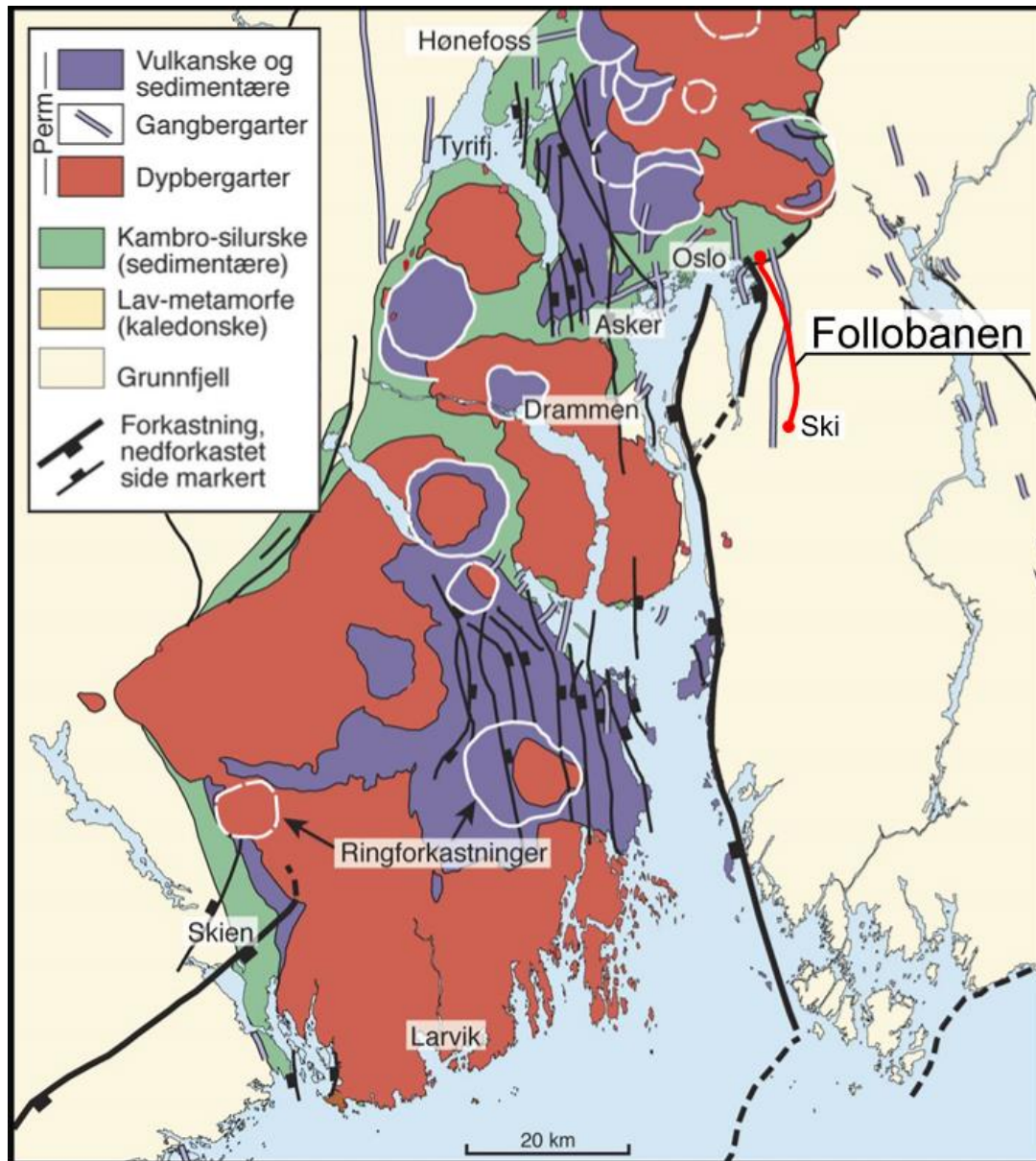




Figur 2 D&S på Follobanen (Foto: T. K. Weydahl, 2017)

Oslofeltet er en viktig del av den regionale geologien hvor Follobaneprojektet befinner seg (Figur 3). Området strekker seg fra Larvik i sør til Brumunddal i nord og er en del av Osloriften som ble dannet i slutten av tidsperioden karbon og igjennom perm. En rift er der hvor jordskorpen blir strekt fra hverandre samtidig som overflaten synker inn, noe som gjør at det også går under navnet Oslo graben. En nokså komplett sedimentær lagrekke fra kambrium til silur godt bevart og lite påvirket av den kaledonske fjellkjedefoldingen. Denne lagrekken består av sandstein og konglomerat oppå grunnfjellet, overleiret av alunskifer, kalkstein, leirskifer og ringerikesandsteinen. Forkastningsbevegelser, jordskjelv og noen ganger størkningsbergarter er vanlig i aktive rifter, noe det er i her også. Under dannelsen av Oslofeltet var det uvanlig stor magmatisk aktivitet som dannet kjente dypbergarter som larvikitt og vulkanske bergarter som rombeporfyr (Fossen, 2008).

Follobanen passerer en av forkastningene, kalt Ekebergforkastningen, der kambro-silurske metasedimenter er nedforkastet i overgangen til det prekambriske grunnfjellet med tonalittisk gneis (O. Nilsen, 2012). Dette kan by på utfordringer med tanke på å drive tunnel igjennom forkastningen, som stabilitetsproblemer.



Figur 3 Geologisk kart over Oslofeltet (modifisert fra (Fossen, 2008))

1.2 Problemstilling

Denne masteroppgaven er på mange måter en fortsettelse på masteroppgaven til Jens Anders Volden fra 2015, også student fra NTNU. Han gjorde en litteraturstudie av D&S og forstudie av D&S bruken på Follobaneprosjektet (Volden, 2015). Det ble gjort feltarbeid der tunnelen skulle gå og laboratorietester på bergartsprøver for å få inndata til numeriske analyser og generell bergmassekarakteristikk. De numeriske analysene handler om bruddutviklingen og spenningene splitterkilen påfører borhullsveggene. Oppgaven til Volden er med andre ord en parameteranalyse. Hans masteroppgave går også mer i detalj når det gjelder geologien i området. Nå er Bane NOR godt i gang med tunneldrivingen på Follobaneprosjektet og det er derfor interessant å se på hvordan det har gått. I denne oppgaven skal det gjennomføres en systematisk analyse av sammenhengen mellom inndrifter oppnådd ved D&S og relevante ingeniørgeologiske parametere som, sprekkekarakteristikk, bergmassekvalitet og bergartstype. Med inndrift menes progresjonen i tunneldrivingen oppgitt i f.eks. meter per uke. Vil alt dette gi økt forståelse av D&S inndrift? Ut ifra dette er punktene som skal undersøkes:

- Korrelasjon mellom inndrifter og sprekkekarakteristikk som oppsprekkingsgrad, sprekkelengde og sprekkeretninger.
- Korrelasjon mellom inndrifter og bergmassekvalitet
- Korrelasjon mellom inndrifter og bergartstype, -styrke og -anisotropi.
- Sammenligne tidligere prognoser for D&S, utført av masterstudent Jens Anders Volden, med erfaring og resultater fra D&S drivingen.

2 Grunnlagsmateriale, utførte undersøkelser

Denne masteroppgaven benytter en rekke grunnlagsmateriale for å gjennomføre de ønskede analysene om inndrift. Nedenfor følger en oversikt over grunnlagsmaterialet:

- **Tunnelprogresjonsrapporter.** Under driving av tunnelen blir denne rapporten, i form av et excelark, lagt ut daglig av entreprenør på et e-hotell for prosjektet. En slik dagsrapport inneholder informasjon om hvor mange netto arbeidstimer som blir brukt på de forskjellige aktivitetene som er nødvendige for fremdriften av tunnelen. Med dette kan man se hvor mye tid som brukes på én aktivitet som f.eks. splitting, lasting eller rensk av stuff. Her står også den daglige fremdriften oppgitt i pelnummer og meter.
- **Kartleggingsrapporter.** Denne rapporten blir lagt ut etter at det er foretatt en geologisk kartlegging av stuffer som nylig har blitt sprengt/splittet og rensket. Under kartleggingen blir det nye pelnummeret målt og registrert i rapporten. Den kartlagte stoffen blir også skissert med bergartstype og svakheter som sprekker. Q-verdi med dens parametere og sprekkesett med fall/fallretning blir satt. Annen viktig informasjon som inngår i rapporten er tunnelseksjon, drivemetode, dato, kort ingeniørgeologisk beskrivelse og bilder. I slutten av januar 2018 hevet Bane NOR kontrakten med totalentreprenøren Condotte etter at tunnelarbeidet hadde stått stille i to uker (Aga, 2018). Etter dette er det ikke lagt ut flere rapporter på prosjekthotellet. I tillegg er det ingen data på prosjekthotellet før november 2016. Mesteparten av datagrunnlaget er derfor fra 2017.
- **Ingeniørgeologiske rapporter.** Dette er rapporter laget av Bane NOR fra forberedende arbeider til Follobaneprosjektet. De omfatter blant annet grunnforhold med berggrunnsgeologiske kart, tolkning av borkjerner, laboratorietesting og ingeniørgeologiske forhold.
- **Foredragsreferat.** Det er skrevet noen artikler om Dril&Split og erfaringer fra Follobaneprosjektet av Bane NOR til forskjellige konferanser hvor det er blitt holdt foredrag. Dette er noen av de få gode kildene på bruk av denne metoden og dermed den viktigste kilden til erfaringer fra driving.
- **Tegninger.** Med tegninger menes borplaner, tunnelprofil, tunneløp og status for tunnelinndrift laget av Bane NOR og deres entreprenører.

For å ha noe å korrelere inndriftsdataene med er det foretatt egne undersøkelser av forfatter. Undersøkelsene er basert på aktivitet på anlegg i sommeren 2017 der forfatter vikarierte som kontrollingeniør med oppfølging av entreprenør og tunnelarbeid. Egne undersøkelser beskrives i detalj i kapittel 4 og 5. De undersøkelsene som er gjort av forfatter er:

- **Kartlegging.** I tillegg til å ha deltatt på de geologiske kartleggingene som ligger til grunne for kartleggingsrapportene, er det gjort detaljerte undersøkelser av sprekkekarakteristikk.
- **Prøvetaking.** Et utvalg bergartsprøver er hentet fra fem ulike lokaliteter i tunnelen.
- **Labororientesting.** Punktlasttesting og enaksial trykktesting er utført på bergartsprøvene.
- **Behandling av inndriftsdata.** Inndriftsdata fra tunnelkartlegging og rapportering er systematisert i tabeller og diagrammer.

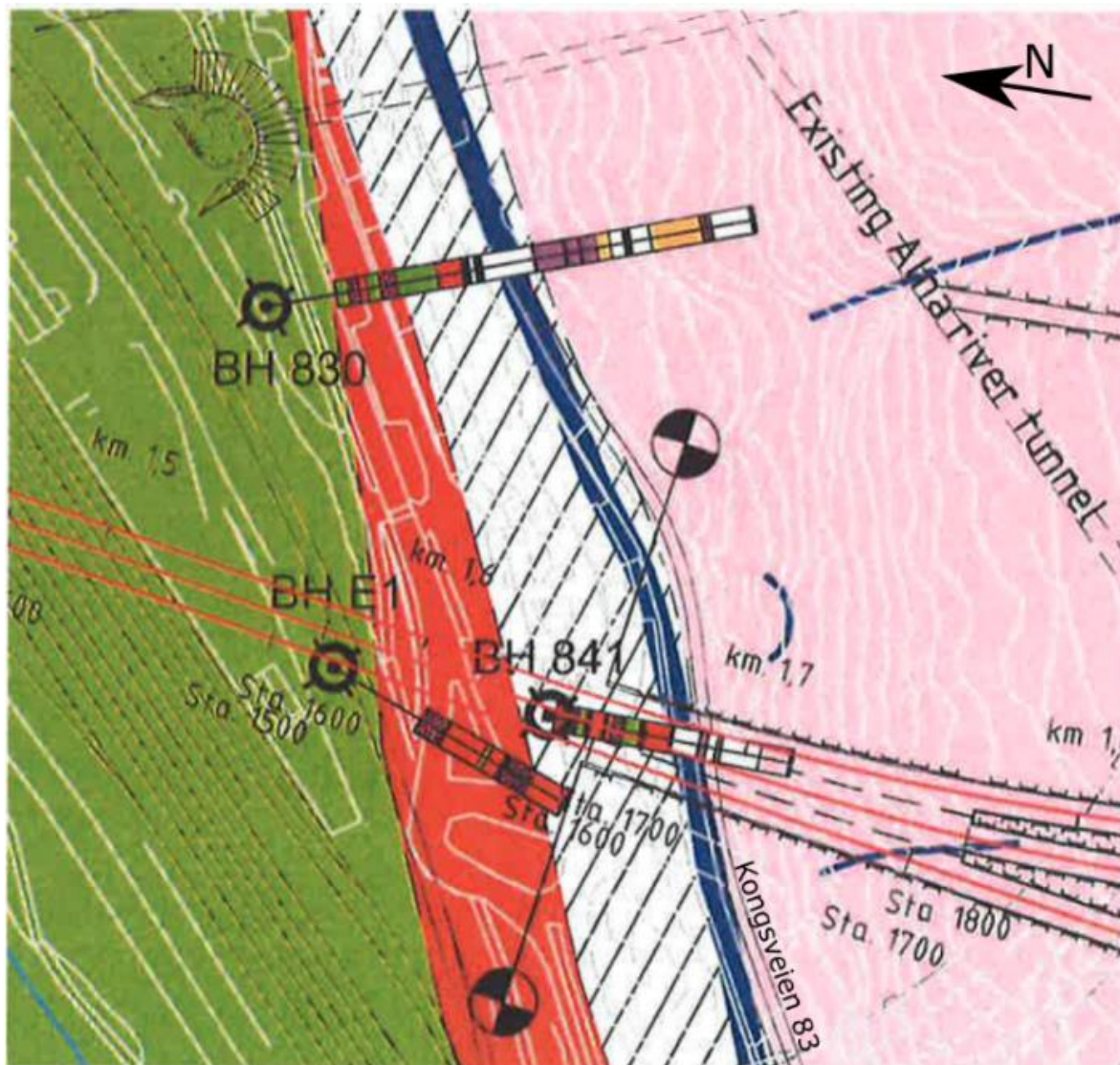
3 Beskrivelse av prosjektområdet

3.1 Ingeniørgeologiske forhold på prosjektet/Områdebeskrivelse

Området er en del av Oslofeltet som utgjør en ca. 30 - 60 kilometer bred sone fra Mjøsa i nord til ytre Oslofjord i sør. Oslofeltet utgjør en del av en riftstruktur og ble dannet ved strekking, fortykning og oppsprekking av jordskorpa i tidsperioden karbon og perm. I øst og vest er feltet begrenset av forkastningssoner med retning omtrent N-S, som skiller feltets hovedsakelige kambrosiluriske og permiske bergarter fra eldre grunnfjellsbergarter (Jernbaneverket, 2014).

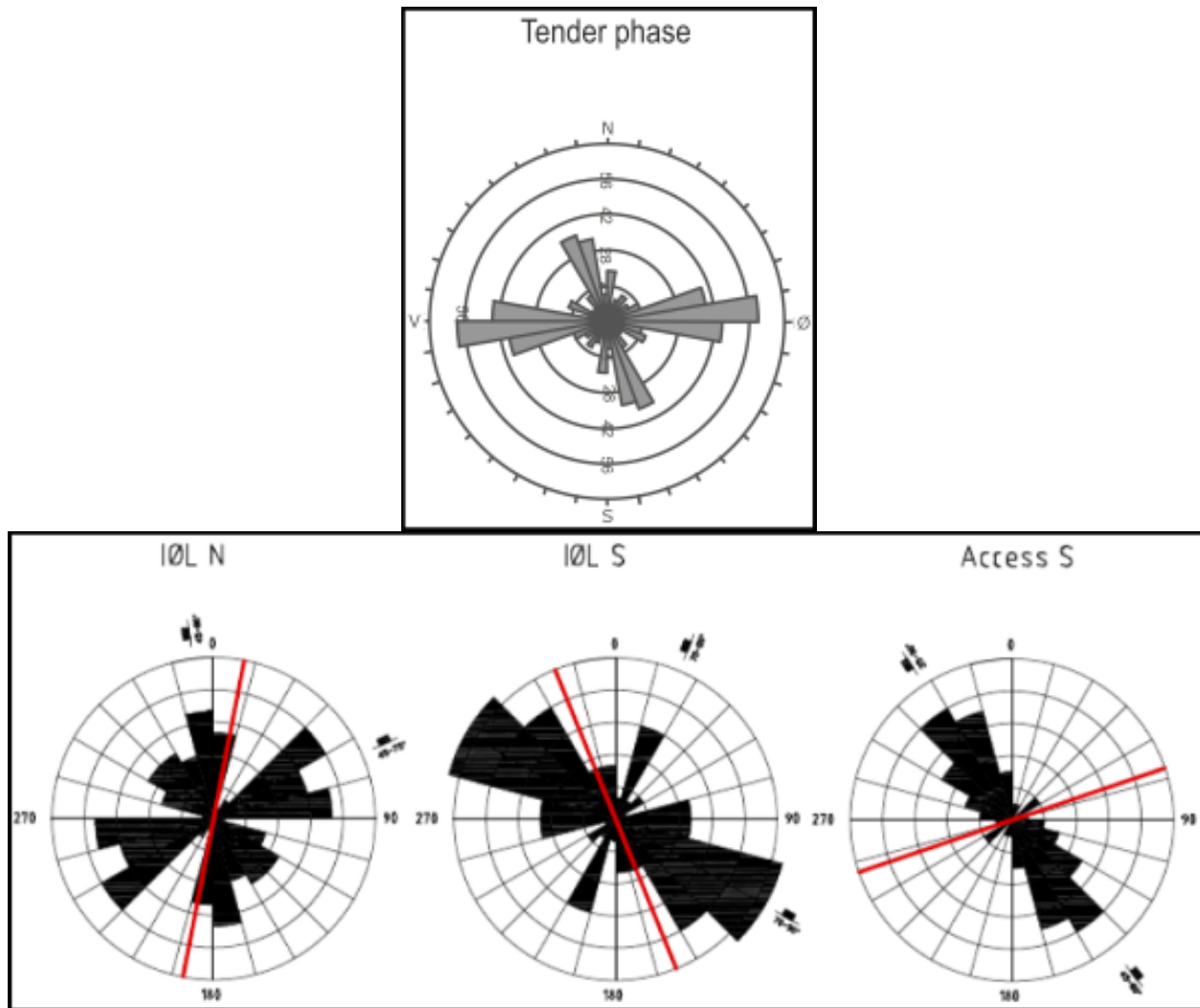
Entreprisen Drill & Blast på Follobaneprosjektet ligger i bergmasse bestående hovedsakelig av prekambrisk gneis med bånding og linser av amfibolitt og pegmatitt. Gneisen kan deles opp i tre litologier: Tonalitisk – granitisk, kvarts-feltspat og biotittisk øyegneis. Flere grupper med svakhetssoner skjærer gjennom gneis strukturene (Jernbaneverket, 2013). I tillegg finnes flere generasjoner av intrusjoner men fjellet er generelt homogent og kompetent. Oppsprekkingen er moderat (Lawton, Andersen, Sagen, & Jansen, 2017). Prosjektet er like ved forkastningssonen, kalt Ekebergforkastningen, som skiller kambrosiluriske og permiske bergarter fra det prekambriske grunnfjellet (vedlegg C). Denne normalforkastningen har hatt en forskyvning på omtrent 900 meter under dannelsen av Oslo Graben. Dette gjør at det er mer oppsprukket bergmasse nærmere kanten på Ekebergåsen der inngangen av tunnelen er. Her finnes mer skifrige bergarter med problemavfallet alunskifer. Grunnfjellet ble dannet under fjellkjedefoldingen og er nederoderte rester etter ca. 1000 millioner år gamle fjellkjeder (Bjørlykke).

Det er gjort kjerneboring på et tidlig stadium ved inngangen av tunnelen i nord (Figur 4). Borhull 841 ble boret i november 2012 og er 80 meter langt. De 40 første meterne består av vekslende lag med alunskifer og syenittporfyr. Det er tydelige knusningssoner med kompetente bergarter imellom. 40 meter inn i borhullet er det soner med breksjert gneis og amfibolitt, og de siste 10 meterne er gneis (JBV, 2013).



Figur 4 Oversikt over kjerneborhull gjort ved påhugget (Jernbaneverket, 2013).

Under driving blir gneisene behandlet som én bergart grunnet at det er vanskelig å skille de forskjellige. Den er foldet i skarpe isoklinale folder som har klar foliasjon med strøk N - S til NV - SØ. Forundersøkelsene tilsier at bergartene har moderat oppsprekking, der amfibolittintrusjonene hadde den største graden av oppsprekking. Det kommer også frem i sprekkerosen at det er to sprekkesett som går igjen (Figur 5). Det ene faller steilt med strøk Ø-V, og det andre følger foliasjonen med strøk N-S og fall mot vest (35°-90°). I tillegg er det andre tilfeldige sprekkesett med andre orienteringer. Sprekkeregistreringene er gruppert fra flere steder siden sprekkesystemene gikk igjen langs tunnelretningen (Jernbaneverket, 2013). Det er også laget sprekkeroser fra tidlig inn i tunneldrivingen (Figur 5).



Figur 5 (øverst) Sprekkemålinger fra forundersøkelsene slått sammen til en sprekkerose (Jernbaneverket, 2013). (underst) Sprekkeroser fra geologiske kartlegginger i Inngående Østfoldbane nord, Inngående Østfoldbane sør og søndre adkomsttunnel (NFF, 2016c).

Som en del av forundersøkelsene er det til slutt gjort bergmekaniske undersøkelser på bergarts- og kjerneprøver i laboratoriet (Tabell 1 Utdrag fra bergmekaniske tester utført i forbindelse med forundersøkelser (Jernbaneverket, 2013)). Lokalitetene kan bli funnet igjen på Figur 4. Det er også gjort enaksialt trykkforsøk på fire bergartsprøver av masterstudent Volden. To av prøvene er plukket fra en veiskjæring langs E18 der det er brukt D&B. Dette gjør at prøvene kan ha skader og sprengningsinduserte sprekker, men blokkene virket intakt. Sammenlignet med forundersøkelsene var den enaksiale trykkstyrken (UCS) på prøvene hans generelt høyere. Denne parameteren varierte mye avhengig av sted og prøvemateriale, men gjennomsnittlig UCS lå på 143,1 MPa (Volden, 2015).

Tabell 1 Utdrag fra bergmekaniske tester utført i forbindelse med forundersøkelser (Jernbaneverket, 2013)

Lokalitet	Bergartstype	DRI	UCS [MPa] Bruddvinkel	PLT (Is50) [MPa]	Brazilian Tensile Strength [MPa]	Kvarts %
Kongsveien 83. (Blokk)	Tonalittisk- granittisk gneis	38				25
BH 830 (89-92 m)	Breksjert gneis	51	132,2	6,7		35
BH 841 (77.0-78.0 m)	Gneis	37	95,4 22 °	6,7	6,2/11,8*	28

*Parallelt med svakhetsplan/Normalt på svakhetsplan

På Follobaneprosjektet blir geologiske parametere bestemt etter Q-systemet (vedlegg A). Dette er et system som bruker en Q-verdi til å klassifisere bergmasser med hensyn til stabilitet av tunneler og bergrom (NGI, 2015). Beregning av Q-verdien brukes til å finne rett type og mengde sikring, og er basert på seks parametere:

Formel 1 Q-verdi (NGI, 2015).

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

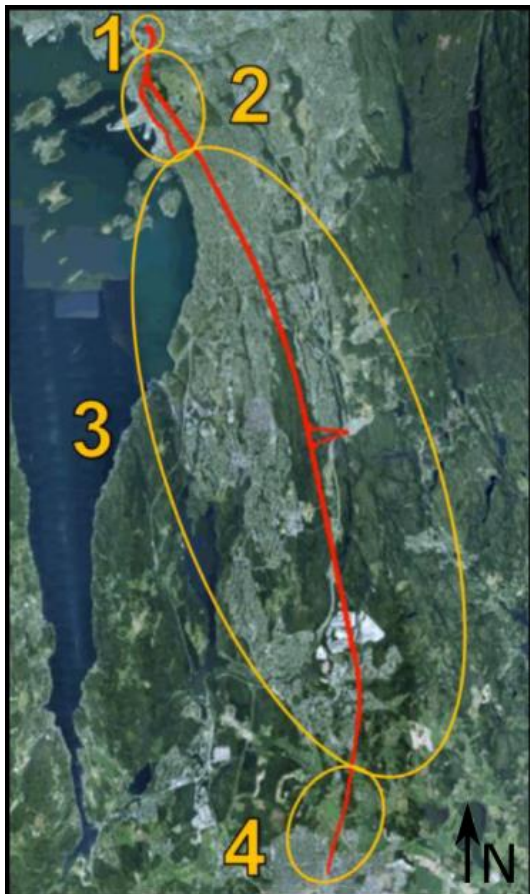
Oppsprekkingsgrad (RQD/J_n), Friksjonsforhold langs sprekker (J_r/J_a) Spenningsforhold (J_w/SRF). Vedlegg A-1 viser nærmere forklaring av parametere som inngår i Q-systemet (SVV, 2010).

For BH 841 har gneisen typisk en Q-verdi fra 1-9, med en gjennomsnittlig Q-verdi på 4,5 (Jernbaneverket, 2013). Dette tilsvarer bergmassekvalitet C (godt), som tilsier gode forhold for tunneldriving. I tillegg har alunskiferen, syenittporfyren og den breksjerte gneisen fått Q-verdier på henholdsvis 0,09 (ekstremt dårlig), 3,9 (dårlig) og 2,6 (dårlig). SRF er satt til 5 for hele borhullslengden siden overdekningen er mindre enn tre ganger tunnelbredden, og det forventes lave spenninger i tunnelen (Jernbaneverket, 2013).

3.2 Follobaneprosjektet

Follobanen er en ny 22 km lang dobbeltspor-jernbane mellom Oslo Sentralbanestasjon og den nye jernbanestasjonen på Ski, sør for Oslo. Dette utgjør den innerste delen av InterCity-utbyggingen (figur 6). På denne strekningen bygges en 20 km lang tunnel som blir den første i Norge med to atskilte løp. Follbanen er/var Norges største samferdselsprosjekt og vil halvere reisetiden mellom Oslo og Ski til 11 minutter (NFF, 2016a).

Follobaneprosjektet består av flere parallelle arbeidsoperasjoner fordelt på jernbanelinjen. Den største av de er tunnelpartiet som drives med tunnelboremaskiner (TBM), men det er også deler av tunnelen som drives med konvensjonell boring og mekanisk bryting. I sin helhet er prosjektet delt inn i fem delprosjekter, eller entrepriser. Tre av de er totalentrepriser, såkalte «Energy Performance Contracting. Energisparekontrakter» (EPC). De fem entreprisene er:



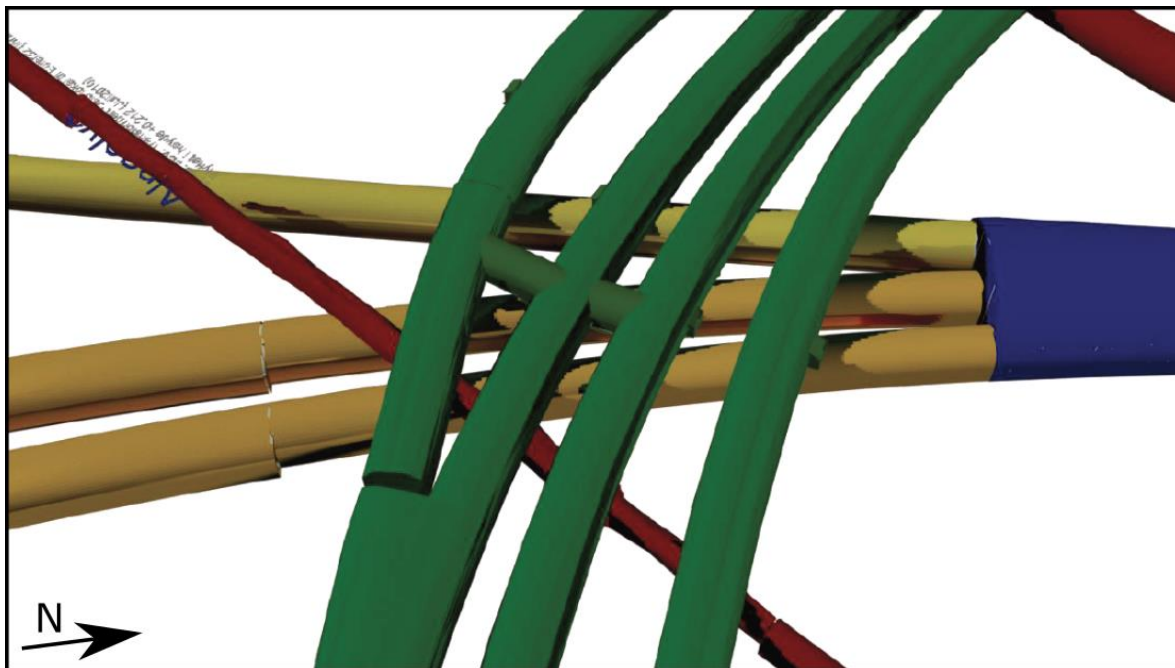
1. Civil Oslo S, innføringen til stasjonen
2. EPC D&B, konvensjonelle drivingen i Ekerbergåsen
3. EPC TBM, driving med tunnelboremaskin
4. EPC Ski, innføring og ombygging av Ski stasjon
5. Signalarbeidene (hele prosjektet)

Figur 6 Follobaneprosjektet med entreprisene 1) Civil Oslo S, 2) EPC D&B, 3) EPC TBM, 4) EPC Ski (NFF, 2016a)

3.3 utfordringer på delprosjektet Drill & Blast

Den nordligste delen av Follobanetunnelen ligger i Ekebergåsen og er i stedet for TBM blitt drevet med tradisjonell boring og sprengning (EPC D&B). Det er den italienske entreprenøren Società Italiana per Condotte d' Acqua S.p.A som ble tildelt prosjektet, som utgjør ca. 5 km tunnel fordelt på jernbanetunneler og adkomsttunneler. Det ble tidlig bestemt at det var best å angripe denne delen av prosjektet fra Sydhavna, der riggområdet er etablert. Fra nord (Oslo S) var det for mye grunnarbeid å vente på før man kunne starte på tunnelen til å angripe fra den siden (NFF, 2016c). TBM-ene som kommer sørfra vil etter hvert komme inn i de åpne Follobanene på EPC D&B og fraktes ut derifra.

I Ekebergåsen er det allerede mange bergrom: E6 Ekebergtunnelen med fire løp, Grønliatunnelen, Alnaelva, to kavesystemer som oppbevarer petroleumsprodukter, Ekeberghallene, Midgardsormen, Bekkelaget renseanlegg og militære installasjoner (NFF, 2016c). Dette skaper komplekse infrastrukturer som de nye tunnelene skal passere. På Figur 7 kan man se de nye Follobanene og Østfoldbanen (gul) komme inn under den tunnellagte Alnaelva (rød) og Ekebergtunnelene (grønn) før de møtes og går sammen i en stor hall (blå) for å så komme ut av Ekebergåsen.

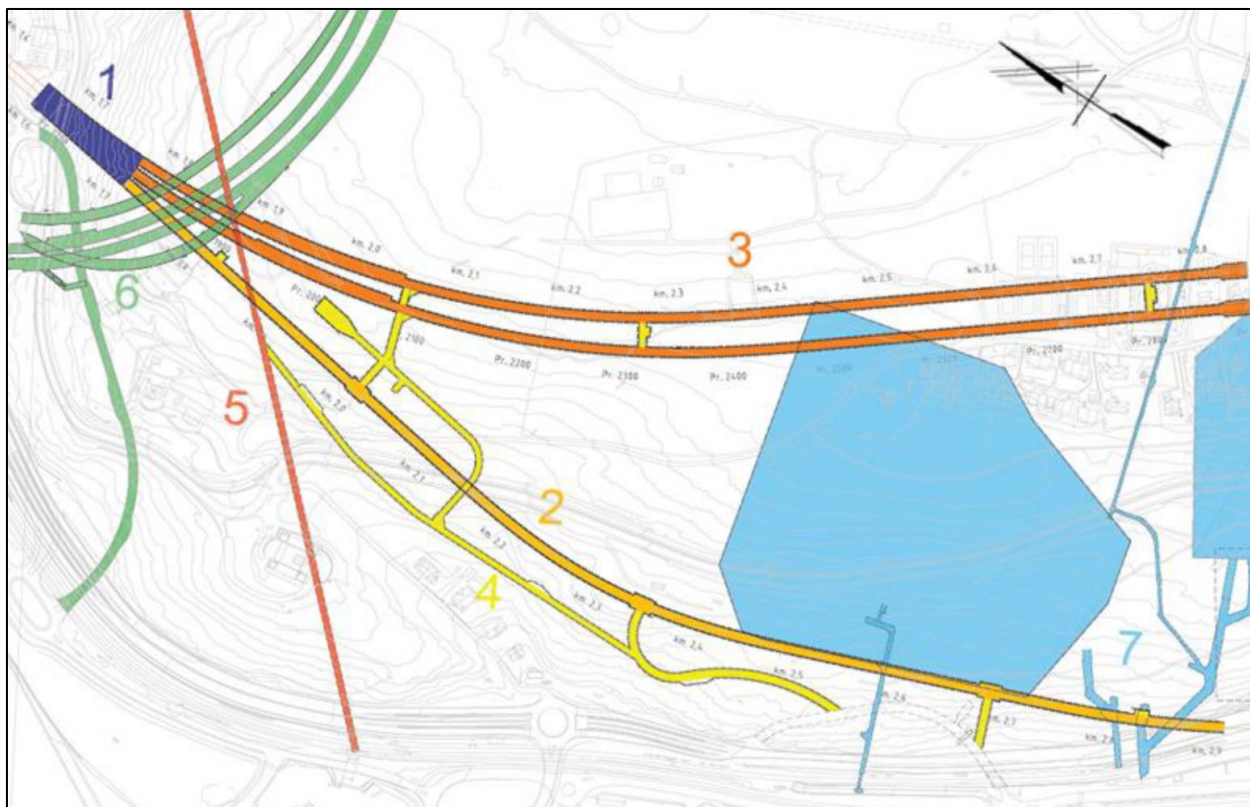


Figur 7 Den komplekse infrastrukturen i Ekebergåsen (NFF, 2016a).

Det har ut ifra kompleksiteten blitt sett for seg et worst-case scenario med lengre stengning av Ekebergtunnelen som er en av Oslos mest trafikkerte tunneler, og risiko for tapt menneskeliv i eksisterende tunneler på grunn av ras eller skader. Det er også fare for brudd i oljelagerne som leverer drivstoff til Gardermoen. I tillegg er det risiko for store tap av omdømme og kostnader (NFF, 2016c).

Opprinnelig var det planlagt å sprengne alt bergvolumet. Da hadde det blitt nødvendig å gjøre tiltak i Ekebergtunnelen for å ivareta stabiliteten siden det er under fem meter overdekning fra de nye tunnelene. Dette innebar støping bak hvelv og periodevis stengning av tunnelen når de nye Follobanetunnelene skulle krysse under. Som en alternativ metode til forsiktig sprengning kom det et forslag om drivemetoden Drill & Split, som bryter berget mekanisk. Sprengning ble vurdert som urealistisk enkelte steder, og på grunn av den høye trykkstyrken til gneis ble andre metoder også umulige. Etter nøye betrakninger ble D&S det beste alternativet. D&S fjerner utfordringene med rystelser, forenkler inngrepene i Ekebergtunnelen og gjør at den nye tunnelen kan drives sammen med at det er trafikk i veitunnelen (NFF, 2016c). Alnaelva er også presset mellom Ekebergtunnelen og de nye tunnelene (Figur 7). Her er det risiko knyttet til lav overdekning og vannlekkasje.

Lenger sør passerer Follobanene nære systemer med kaverner til å oppbevare petroleumsprodukter (Figur 8), hvor overdekningen er helt ned til 3 meter. Her er det risiko ved sprengning å slå sprekker inn til kavernene slik at muligheten for flukt av hydrokarboner øker. Lenger sør krysser en rømningstunnel fra oljekavernene østover rett under follobanene og den må derfor bygges om (NFF, 2016c).



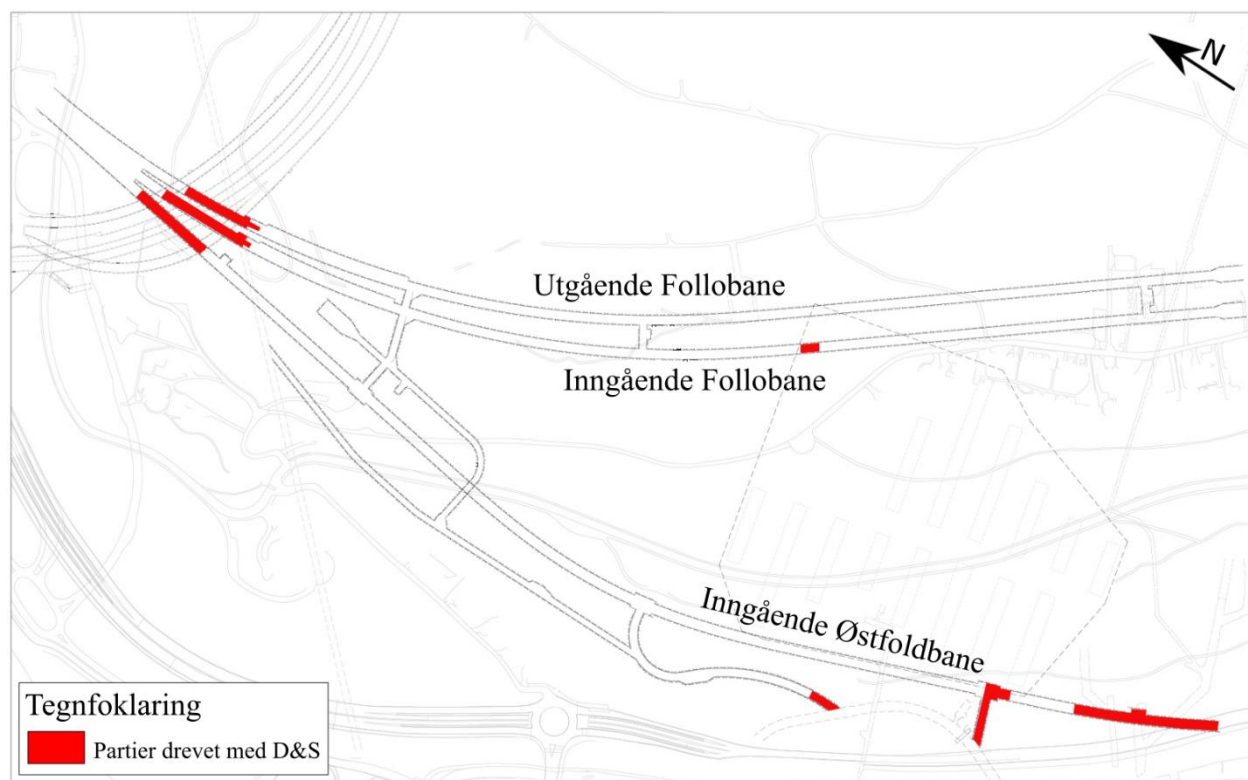
Figur 8. Oversikt over tunnelelementene i EPC D&B. 1) Tresporshallen, 2) Inngående Østfoldbane, 3) Inngående og Utgående Follobane, 4) adkomsttunneler og tekniske rom, 5) Alnaelva, 6) Ekeberg tunnelene og Grønnliatunnelen, 7) Ekeberg Oljelager med rømningstunne (NFF, 2016a)

Søndre del av inngående Østfoldbane og søndre adkomsttunnel ligger også i nærheten av oljelagerne (Figur 8). En større utfordringer knyttet til deres transport- og rømningstunneler ut av Ekebergåsen som er sensitiv for rystelser og som ligger meget tett på IOL (NFF, 2016c).

Helt i sør vil den inngående Østfoldbanen krysse under E18-Mosseveien og videre koble seg på den eksisterende Østfoldbanen. Der den nye tunnelen som kommer ut av Ekebergåsen kalles Søndre Portal og er et trangt område der den nye jernbanetraséen er klemt mellom E18 ovenfor og Østfoldbanen nedenfor. Området ligger også med nærhet til havnen og boligbebyggelse. Fjellet her er svakt og har lav overdekning (NFF, 2016c).

Metoden D&S er ikke blitt brukt på alle de stedene som var planlagt. Status i uke 46 2017 er den siste tilgjengelige statustegningen (vedlegg B). Der går det an å se hva som er splittet og hva som er sprengt. Det gjenstår bare uttak av bergmasser fra Alnaelva og nordover, og de siste meterne med gjennomslag i Søndre Portal. Resten av bergrommet er tatt ut. Statustegninger gir derfor en god indikasjon på hvor metoden D&S er brukt (Figur 9). Først er det splittet i adkomsttunnelene

fra eksisterende Sjusjøya tunnel og inn mot inngående Østfoldbane. For søndre del av Østfoldbanen og kryssing under E18-Mosseveien ble D&S den eneste realistiske drivemetoden. Det var for å tilfredsstille vibrasjonskrav og skade på eksisterende infrastruktur. Et lite parti forbi oljelagerne på inngående Follobane er splittet. Den mest utbredte splittingen foregår under Ekeberg tunnelene og Alnaelva. Alnaelva var først planlagt å legges om og drevet med D&S men det ble endring i planene, og den eksisterende tunnelen ble beholdt mot å forsterke elvebunnen med betong.



Figur 9 Oversikt over hvor metoden D&S er brukt og brukes (vedlegg B).

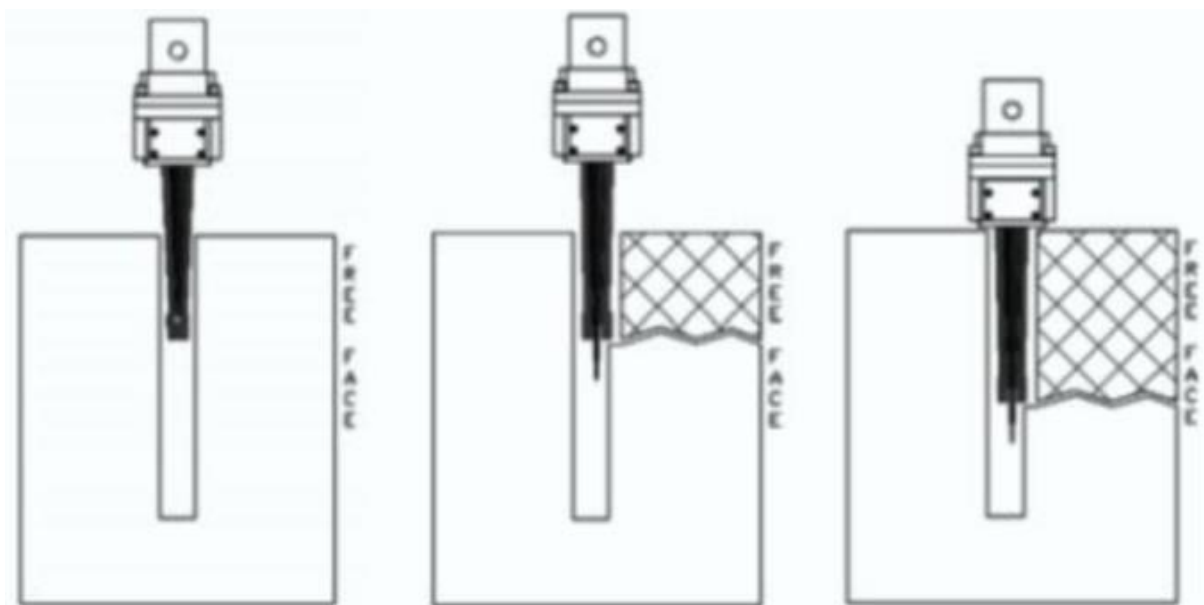
3.4 Kort om drivemetoden Drill & Split

Metoden D&S går ut på å bryte løs fjellet mekanisk uten bruken av sprengstoff. Det er en metode som bruker et gammelt prinsipp, der det ble brukt trestokker i sprekker som utvidet seg etter tilførsel av vann. Denne svellingen utøvet kraft på fjellet og brøt det løst i mindre biter. Den moderne versjonen av denne metoden går ut på å bore hull så tett at man ved hjelp av en hydraulisk kile kan dele eller "splitte" opp fjellet mellom borhullene. Metoden brukes der forhold ikke tillater sprengstoff, f.eks. ved vibrasjonsgrenser eller nærhet til konstruksjoner og annen infrastruktur. D&S er en metode som mer vanlig blir brukt i liten skala med håndholdte splittere. Follobaneprosjektet introduserte D&S for første gang i Norge på et tunnelprosjekt, og da også på hele tunnelprofilen (NFF, 2016a). Det finnes derfor lite annen informasjon om den drivemetoden. Når man driver tunnel med D&S bores det i et systematisk mønster som kan være forskjellig fra sted og prosjekt. En typisk borplan ligger som vedlegg. Denne borplanen er fra IOL på Follobaneprosjektet og har 656 borhull i en stuff (innerste vegg i tunnel under driving) med et tverrsnitt på ca. 80 m². Hulldiameteren som brukes på Follobanen er 76 mm (NFF, 2016c) Avstanden mellom hullene er ca. 0,4 m som er mye tettere enn med sprengningsarbeid. Hulldybden er vanligvis på 1,4 - 2 m, og 2 m i dette eksempelet. Det bores et kutt med grovhull, eventuelt som en slisse, midt i nedre del av stuffen der splittingen skal begynne (Jernbaneverket, 2016).



Figur 10 Superwedge montert på graver (Foto T.K. Weydahl, 2017).

Splittingen utføres av en Superwedge som festes på en vanlig gravemaskin (Figur 10). Superwedgen har en kile på 0,7-1 meter som består av tre deler; to vinklede ytterkiler og en bevegelig hydraulisk kile mellom disse (Figur 10). Kilen føres inn i hullet og den midterste kilen presses innover i hullet slik at de to ytterste kiledelene skaper mekanisk ekspansjon og induserer spenninger i bergmassene omkring. En Superwedge har et splittertrykk på 2400 tonn. For å få initiert sprekker trengs det en fri flate å bryte fjellet mot, noe de andre borhullene opptrer som. Kilen trenger en hull diameter på 3 tommer. Kilen trenger også å smøre med jevne mellomrom og er derfor utstyrt med en dyse som styres fra gravemaskinen. Fra grovhullene jobber man seg oppover og utover på siden ved å splitte ett og ett hull. Hvert hull skal splittes i to omganger for å best utnytte splitterkraften mot hullarealet (Figur 11). I starten vil blokkutfall ligge i veien for splittingen og det må renskes før man fortsetter. De nederste hullene settes med plastikkør slik at de ikke fylles med stein og kan bli funnet igjen. Dette er sålen, som er den vanskeligste og mest tidkrevende delen av profilet å splitte. Etter splittingen pigges stoffen fri for løst berg (NFF, 2016c).



Figur 11 Splitting av et hull i to omganger der berget bryter mot fri flate (NFF, 2016a).

4 Egne undersøkelser

Feltarbeidet til oppgaven ble gjort under oppholdet som vikarierende kontrollingeniør på Follobaneprosjektet sommeren 2017. Det ble god tid til å gjøre de ønskede undersøkelsene etter hvert som tunneldrivingen pågikk. Det ble også gjort egne erfaringer fra drivingen og det å oppleve splittingen på nært hold over lengre tid ga en bedre forståelse av drivemetoden.

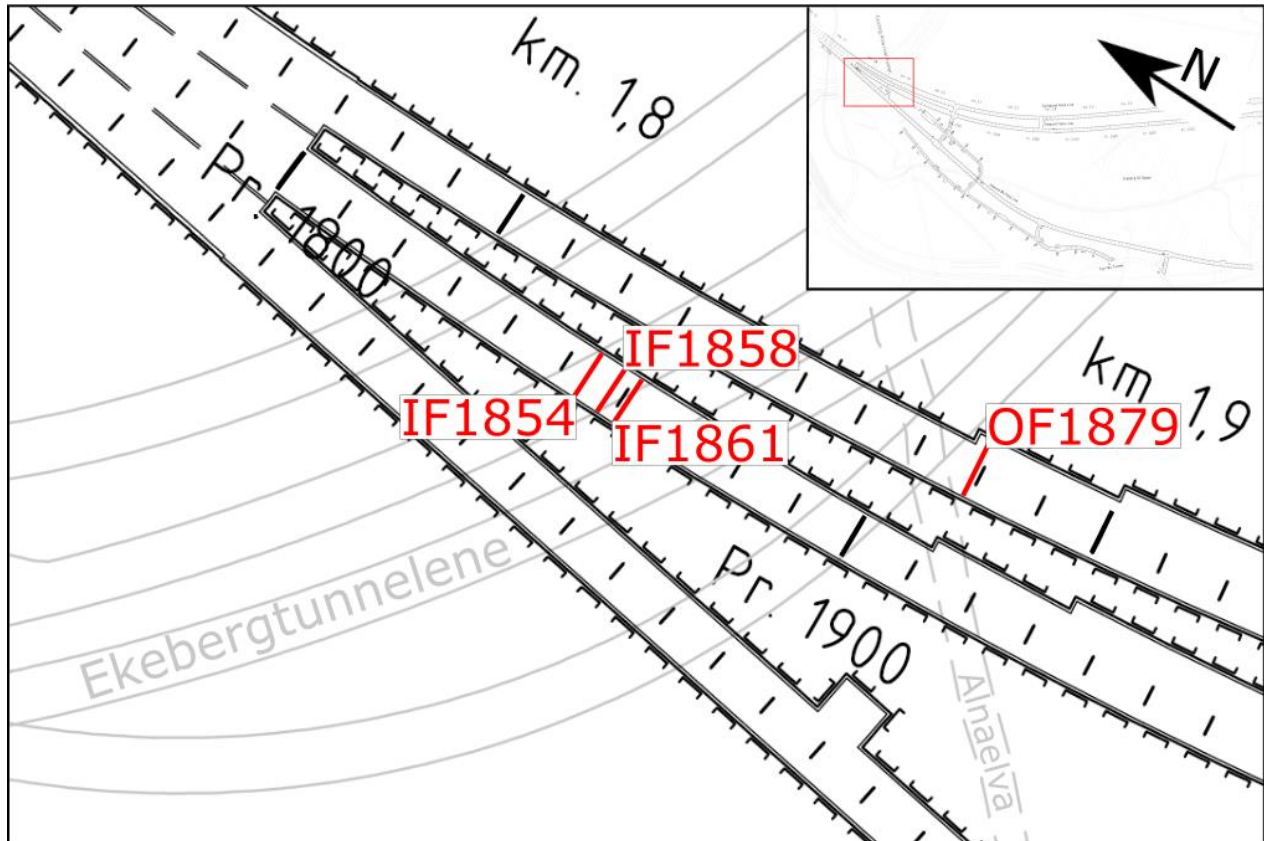
Som det står i kapittel 2 er gjort flere forskjellige undersøkelser til denne oppgaven:

1. Det er gjort observasjoner (generell oppfatning av arbeidet som har foregått) i tunnelen gjennom perioden som sommervikar på Follobaneprosjektet.
2. Det er hentet ut bergartsprøver fra forskjellige lokaliteter der det er blitt utført D&S.
3. Det er gjort kartlegginger for oppsprekking.
4. Det er gjennomført laboratoriske tester av bergartsprøvene for å finne bergartsstyrke og anisotropi. All laboratorievirksomhet er utført på Bergmekanisk laboratorium hos NTNU og SINTEF. Det er utført punktlasttesting for finne punktlaststyrke (I_s) og anisotropiindeks (I_a). Enaksial trykktesting er utført for å finne enaksial trykkstyrke

4.1 Prøvetaking/Felt

Målet var å hente bergartsprøver fra ca. 5 lokaliteter, helst fra forskjellige typer bergmasse. Det var foreslått at Bane NOR skulle legge til side et representativt utvalg bergartsprøver under driving første halvdel av 2017. Dette ble ikke gjort de ikke var gitt tydelig nok beskjed om hvordan dette skulle gjøres. Under sommerens opphold på anlegget ble det drevet D&S på to stuffer. Prøvetaking ble gjort under de daglige oppfølgingene på anlegget. Framdriften var sakte, så avstanden mellom prøvetakingen var ikke stor. Området det ble utført splitting på var inngående Follobane (IFL) og utgående Follobane (OFL), begge under E6-Ekeberg tunnelene. Det var også lengre perioder i begge tunnelene da det ikke foregikk splitting.

Det ble hentet flere bergartsprøver og av de ble det på slutten av oppholdet ble det plukket ut 4 blokker som ble sett på som best å utføre laboratoriske tester på. Blokkene burde være såpass store at det gikk an å bore 12 ca. lange kjerner til testing av enaksial trykkstyrke (ca. 15 kg). De måtte heller ikke være for store med tanke på frakten. Lokalitetene det ble hentet bergartsprøver fra er vist i figur og forklart nedenfor med en foreløpig bergartsbeskrivelse fra feltarbeid.



Figur 12 Lokalteter for bergartsprøver (redigert fra status tegning, Bane NOR).

Bergartsprøve IF1861 (Figur 13Figur 12) er hentet fra inngående follobane pelnummer 1861 den 20. juni 2017 (vedlegg D-2), ca. midt under overliggende Ekebergtunneler. Denne blokken er hentet ut av noe som sannsynligvis er en pegmatitt åre i bergmassen. Denne lyse bergarten var synlig i øvre parti av stoffen, men ikke dominerende/typisk for lokaliteten. Blokken ble hentet ut for å sjekke om den har andre egenskaper enn den mørke bergmassen. Dette vil kunne si noe om det har en innvirkning på inndriften om det er mye eller lite av denne lyse bergarten i partiet som splittes.

Bergartsprøve IF1858 (Figur 14) er hentet fra inngående Follobane pelnummer 1858 den 30. juni 2017 (vedlegg D-3), altså bare tre meter lenger inn enn IF1861. Denne blokken er representativ for lokaliteten og klassifisert som gneis med en blanding av mørke og lyse mineraler. Her var det mineralfyll i et av sprekkesettene, som man kan se på Figur 14.



Figur 13 Bergartsprøve IF1861.



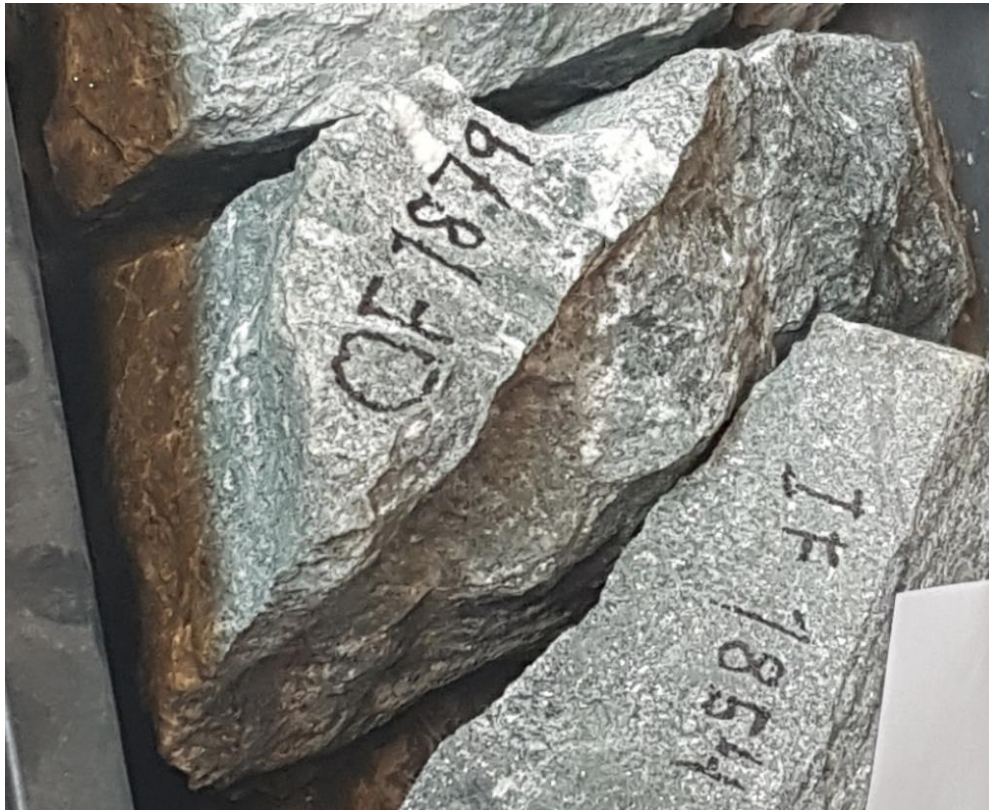
Figur 14 Bergartsprøve IF1858.

Bergartsprøve IF1854 (Figur 15) er hentet fra inngående Follobane pelnummer 1854 den 06. juli 2017. Denne lokaliteten var mer massiv og homogen enn de forrige prøvelokalitetene. Fjellet var mindre oppsprukket, men det var fortsatt mineralfyll i noen av sprekkesettene. Prøven ble regnet som gneis med mørke mineraler.



Figur 15 Bergartsprøve IF1854.

Bergartsprøve OF1879 (Figur 16) ble hentet fra utgående Follobane den 11. august 2017 (vedlegg D-1). Her hadde det lenge vært stans i arbeidene, så denne prøven er plukket etter den først økta med splitting på flere måneder. Prøven ble klassifisert som gneis med mye kaos i strukturen.



Figur 16 Figur. Bergartsprøve OF1879.

4.2 Sprekkekarakteristika

4.2.1 Oppsprekkingsgrad/sprekkelengde

Alle fire prøvelokaliteter hadde omtrent den samme oppsprekkingen, noe som var forventet da de er ganske nærme hverandre. Bergmassen hadde tre sprekkesett og var lite oppsprukket.

Spekkelengden ble ikke nøye kartlagt, men generelt varierte den fra i underkant av 10 cm til sprekker som var gjennomgående for hele stoffen. Pel IF1856 (vedlegg D-4) hadde de tydeligste gjennomgående sprekkene. Det ble gjort en måling på sprekkavstand ved OFL pel 1832 under en befaring den 15. januar 2018. Her var halve stoffen fortsatt sprøytet slik at innsynet var begrenset, men det synlige fjellet var veldig massivt med få tydelige sprekkesystemer (vedlegg D-7). Det mest tydelige sprekkesettet hadde en sprekkavstand på 40 cm og hadde et fall på 55 - 70° mot nord (Figur 17). Foliasjonen på dette stedet falt ca. 20° mot vest.

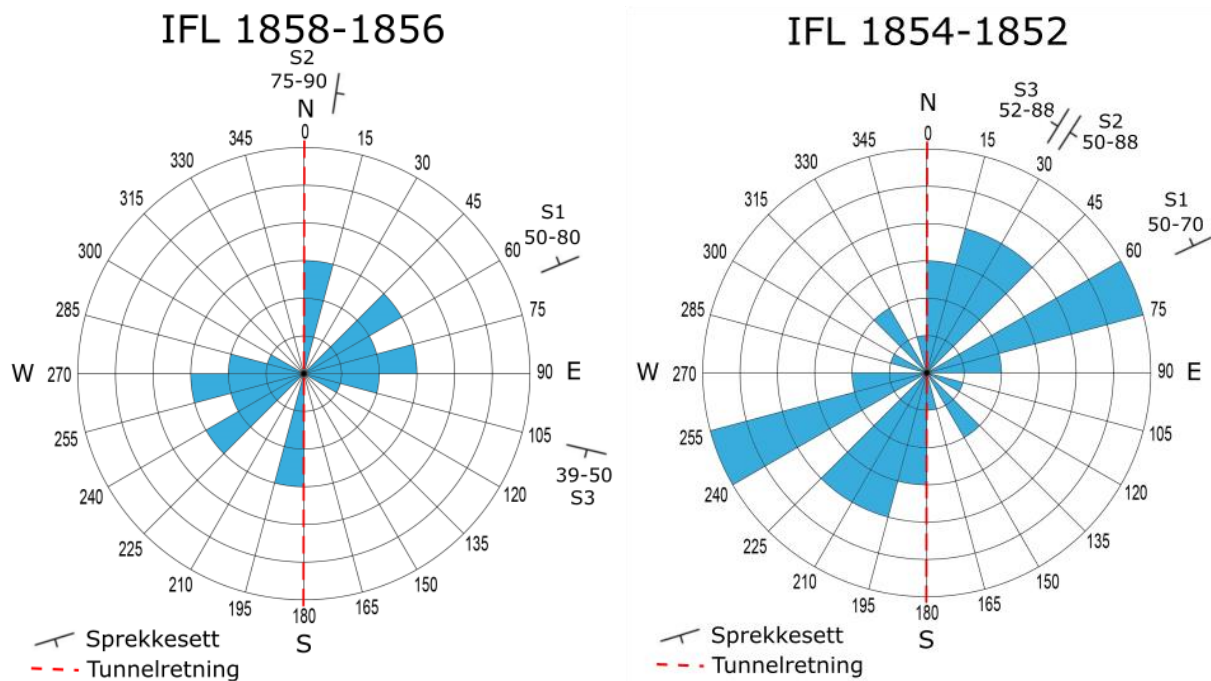


Figur 17 Massivt fjell med sprekkavstand på 40 cm (Foto: T. K. Weydahl).

4.2.2 Sprekkeretninger

For å undersøke orienteringen til sprekkene ble det gjort strøk og fall målinger på lokalitetene IFL 1856 og IFL 1852 (vedlegg D-4+5). Dette var mest for å få noen detaljer å vise frem, og det er ikke nødvendig for denne oppgave å ha flere sprekkeroser. Kartleggingen måtte gjøres under byggherrens halvtime, da byggherre (Bane NOR) og entreprenør (Condotte) skal kartlegge stoffen. Da var det stans i arbeidet, stoffen var rensket, og det var de eneste tidspunktene det var mulig å gjøre kartlegging av sprekker. Det var dårlig tid og det ble gjort så mange målinger som var mulig på den begrensede tiden.

Sprekkeroser ble laget på grunnlag av feltmålingene der pelnummerintervallet er nye meter tunnel siden forrige kartlegging (Figur 18). På IFL 1856 ble det gjort 14 målinger og på IFL 1852 ble det gjort 23 målinger (vedlegg E). For IFL 1856 kommer det frem et sprekkeseett i sektoren 0 - 15 grader NØ, som faller steilt mot øst, og mesteparten av sprekkene ligger i sektor med et strøk fra 45 - 90 grader med fall mot nord. På denne lokaliteten var det vanskelig å komme til siden kartleggingen skjedde før utlastingen av splittet fjell. I felt var det én tydelig sprekkeretning som var lett å se, som er hovedsprekkeseettet S1. Det var også leirefylling i noen av sprekkene, spesielt synlig i S1 på IFL 1856 og S2 på IFL 1852.



Figur 18 Sprekkeroser for IFL 1856 og IFL 1852.

4.3 Lab - Preparering av prøver

Før det kunne utføres tester på bergartsprøvene måtte de prepareres. Til punktlasttest og enaksial trykktest trengs det å bore kjerner ut av de samlede prøvene. Kjerneprøveboring ble utført med hjelp og veiledning av SINTEF laboratorietekniker Niklas Haugen den 12. september 2017.

Først ble kjernene til enaksial trykktest boret, siden de skulle ha den største diameteren på 50 mm. Bare to av prøvene er preparert på grunn av muligheten til omregning fra punktlasttesten. Hvis omregningen fra punktlasttesten samsvarer med testet UCS kan det være trygt å si at omregningen er til å stole på. Enaksial trykktesting er også tidkrevende og behøver store prøvestykker. På grunn av at punktlasttestingen ligger til grunn var er det ikke nødvendig med fem kjerner for hver prøve, som er anbefalt i standarden (ISRM, 1979). Det ble derfor bare gjort i stand tre kjerner for hver bergartsprøve (Figur 19). Kjerneprøveboringen ble utført med en hastighet på 710 o/min og et borsynk på 0,005 mm per omdreining. Til UCS er det viktig at kjernen bores vinkelrett på foliasjonen i bergartsprøvene siden anisotropien har betydning for resultatet. Dette viste seg å være vanskelig da foliasjonen ikke var tydelig på overflaten av bergartsprøven. Det var lettere å se på den utborede kjernen om boringen ble vinkelrett på foliasjonen eller ikke, noe den ikke alltid var. Bruddstyrken blir lavere når vinkel mellom aksialastretningen og foliasjonsplanet blir mindre enn 90° , der prøven har lavest styrke når vinkelen er ca. 30° (B. Nilsen, 2016). Før enaksial trykktest ble de også overflateslipt.



Figur 19 Kjerner av bergartsprøver klare til enaksial trykktest.

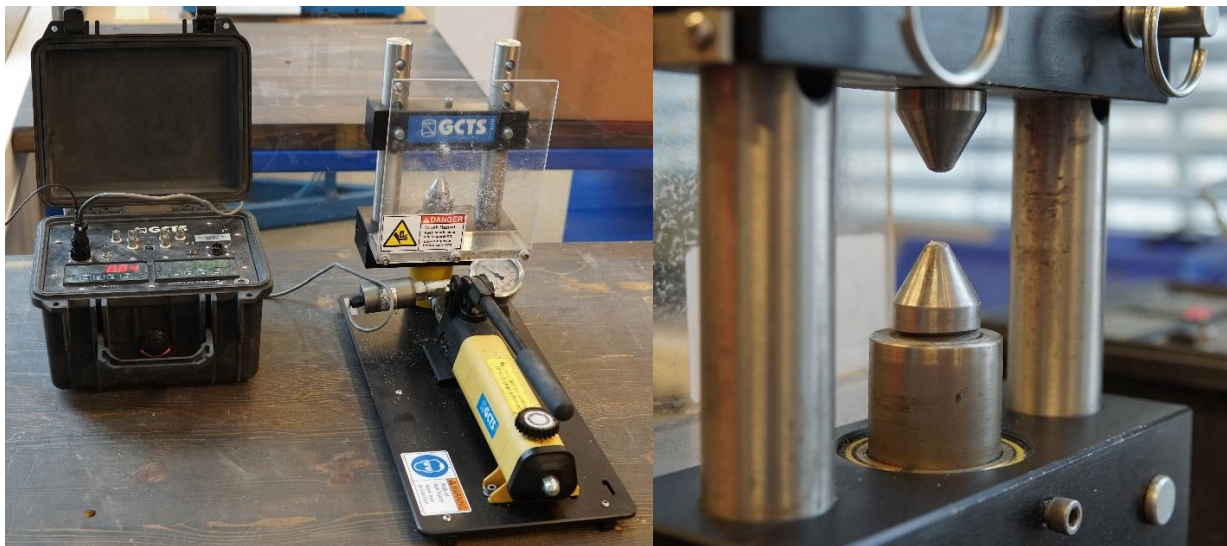
Til punktlasttesting skal det bores nok kjerner til at det kan bli gjort minst 10 punktlastklipp for hver av bergartsprøvene. En kjernediameter på 32 mm ble brukt. Det er vanskelig å vite om alle klippene kom til å bli vellykket, så her var det fint med en god margin i sammenlagt lengde av kjernene. Bergartsprøvene hadde passe stor størrelse med tanke på mengde prøvemateriale. Det ble boret tre kjerner på den blokken som ga de lengste lengden og åtte kjerner på den svakeste bergartsprøven. Dette var på IF1861 som gikk lett fra hverandre slik at det var vanskelig å få lange kjerner, og derav så mange kjerneboringer (Figur 20). Også her er prøves det å bore vinkelrett på foliasjonen i bergarten for å gjøre det mulig å måle anisotropien i bergarten.



Figur 20 Bergartsprøven fra IF1861 gikk lett fra hverandre under kjerneboringen.

4.4 Lab - Punktlasttest

Punktlasttest er en mye brukt metode for å finne trykkstyrken til en bergart. Metoden er rask og anvendelig og gjør det mulig å finne graden av anisotropi i prøvene som testes. Prøvestykker av ulik form kan brukes, som gjør det bærbare apparatet velegnet i felt. Apparatet som er brukt er en GCTS mobil punktlastpresse (Figur 21) som har en maksimal aksiallast på 100 kN (NTNU, 2018). Kjegleformede spisser er satt på til denne testen, og høyest målte trykkstyrke under lastingen leses av på boksen til venstre (Figur 21). Testen er utført i perioden 17. januar – 4. april 2018 etter opplæring av overingeniør ved NTNU, Gunnar Vistnes.



Figur 21 Apparatet brukt til punktlasttesting (Foto: T. K. Weydahl).

4.4.1 Utførelse

Punktlaststyrke

Punktlastpressen blir brukt på kjerneprøver boret til 32 mm. Kjernene plasseres mellom de to spissene som presses mot hverandre ved hjelp av en hånddrevet hydraulisk pumpe. Presset som påføres i to punkter på prøven induserer strekkspenninger indirekte på prøvestykket i de sentrale deler. Testen måler strekkfastheten og gir en indirekte indikasjon på bergartens strekkstyrke (den induserte strekkstyrken) (B. Nilsen, 2016).

Formel 2 Enaksial strekkstyrke (B. Nilsen, 2016).

$$\sigma_t \approx 0,9 \frac{P}{D^2}$$

Forsøks- og beregningsprosedyren angis og punktlastindeksen I_s defineres som:

Formel 3 Punktlastindeks (NGB & NFF, 2000).

$$I_s = \frac{P}{D_e^2}$$

Der P = målt last ved brudd (kN)

D_e = ekvivalent diameter på prøven (mm); for diametral test D_e = kjernediameter; for aksial test $D_e = 4A/\pi$ der A er tverrsnitt arealet mellom lastepunkt (NGB & NFF, 2000).

Strekkstyrke er i størrelsesorden 1/20 av trykkstyrke og krever derfor relativt liten bruddlast.

Tabell 2 viser hvordan punktlaststyrken kan klassifiseres basert på Bieniawski (1984) og Deere (1966).

Tabell 2 Klassifisering av punktlaststyrke (I_s) (NGB & NFF, 2000).

Styrke	Bieniawski (1984)	Deere (1966)
Veldig høy styrke	$I_s > 8$ Mpa	$I_s > 10$ Mpa
Høy styrke	$I_s = 4 - 8$ Mpa	$I_s = 5 - 10$ Mpa
Medium høy styrke	$I_s = 2 - 4$ Mpa	$I_s = 2,5 - 5$ Mpa
Lav styrke	$I_s = 1 - 2$ Mpa	$I_s = 1,25 - 2,5$ Mpa
Veldig lav styrke	$I_s < 1$ MPa	$I_s < 1,25$ MPa

ISRM har standard kjernediameter på 50 mm. Hvis kjerneprøven har annen diameter, brukes størrelseskorreksjons-faktor, F som I_s multipliseres med. For standard 50 mm kjerner er punktlaststyrken.

Formel 4 Puktlaststyrke der kjernediameter ikke er 50 mm (NGB & NFF, 2000)

$$I_{s(50)} = F * I_s$$

Der $F = \frac{D_e}{50} * 0,45$

Prøvestykker varierer i styrke med vanninnholdet og den største variasjonen ligger i området under 25 % vannmettet. Det anbefales å gjennomføre testen med vanninnhold over 50 % der styrken blir minst påvirket av små forandringer i vanninnhold. Testen kan også gjøres på tørre prøver om det er spesifikt ønsket (ISRM, 1984). Gneis fra 7,8 til 8,6 MN/m² i vannmettet tilstand (B. Nilsen, 2016).

Under testen skal avstanden fra belastningspunkt til nærmeste fri flate være 0,7D ved diametral testing. Aksial testing gjøres på kjernebiter med lengde-/diameterforhold på $1,1 \pm 0,05$.

Minimum 10 tester for hver prøve utføres og middelverdien av I_s regnes ut etter å fjerne de to høyeste og laveste verdiene fra hver prøve som testes. Hvis det er få tester fjernes bare den høyeste og laveste verdien (ISRM). I Norge er det vanlig å bruke medianverdien da den er mindre følsom for ekstreme resultater (B. Nilsen, 2016). I denne oppgaven er middelverdien brukt da ISRM er fulgt.

Anisotropiindeks

Anisotropiindeksen er en verdi som sier noe om graden av styrkeanisotropi i prøvestykket. Denne verdien er høyere hvis forskjellen mellom svakeste og sterkeste trykkstyrke er større. Bergarter som er veldig anisotrope kan ha en anisotropiindeks over 5. For å finne anisotropiindeksen må det gjennomføres en diametraltest og en aksialtest som er gir styrken i to retninger normalt på hverandre. For punktlasttesting er anisotropiindeksen, $I_{a(50)}$, gitt med forholdstallet:

Formel 5 Anisotropiindeks (ISRM, 1984)

$$I_{a(50)} = \frac{I_{s(50)maks}}{I_{s(50)min}}$$

Der $I_{s(50)maks}$ og $I_{s(50)min}$ er punktlaststyrken for diametral og aksial test ettersom hvilken har høyest punktlaststyrke da $I_{a(50)} > 1$.

Får å ha noe å relatere anisotropiindeksen fra punktlasttesten kan en bruke klassifiseringen av anisotropi (Tabell 3) som er vurdert (etter Palmström, 1995 og Tsidzi, 1990) med en anisotropifaktor, f_A , ut i fra trykkstyrken σ_c :

Formel 6 Sammenheng mellom anisotropifaktor og trykkstyrke (NGB & NFF, 2000).

$$\sigma_{c\ min} = \frac{\sigma_{c\ maks}}{f_A}$$

Tabell 3 Klassifisering av anisotropi for bergarter (NGB & NFF, 2000).

Bergklassifisering	Isotropisk	Ganske anisotropisk	Moderat anisotropisk	Meget anisotropisk	Veldig sterkt anisotropisk
Vurdering av foliasjon anisotropi faktor (f_A)	1 - 1,2	1,2 – 1,5	1,5 – 2	2 – 2,5	> 2,5

Punktlasttesting og I_s egner seg bra til å uttrykke styrkeanisotropien i bergarter. Trykktesting egner seg ikke på grunn av innvirkningen anisotropien har på bergarten under testen. Maksimal trykkstyrke kan oppnås både normalt og parallelt på foliasjonen, avhengig av bergarten. Den

laveste trykkstyrken får man hvis kjernen er boret med en vinkel mot foliasjonen eller skifriheten (B. Nilsen, 2016).

Korrelasjon mellom punktlastindeksen I_s og enaksial trykkstyrke σ_c

Ved hjelp av en omregningsformel kan punktlasttest nesten erstatte enaksial trykktest. Men for en verdi av punktlaststyrken kan den enaskiale trykkstyrken variere ganske mye. Formelen gir en rettlinjet korrelasjon som er basert på erfaringstall, så den må brukes med forsiktighet (B. Nilsen, 2016). Hvis punktlasttestingen er utført skikkelig kan metoden gi like gode resultater, og i tillegg er det mer lettvinnt og tidsbesparende. Korrelasjonen mellom de er som følgende:

Formel 7 Korrelasjon mellom punktlaststyrke σ_c og enaksial trykkstyrke I_s (NGB & NFF, 2000)

$$\sigma_c = k * I_s$$

For 50 mm kjernediameter omskrives formelen til:

Formel 8 Korrelasjon mellom punktlaststyrke σ_c og enaksial trykkstyrke I_s for 50 mm kjerner (NGB & NFF, 2000)

$$\sigma_c = k_{50} * I_{s50}$$

Det er oppdaget at korreksjonsfaktoren, k og k_{50} , varierer med styrken på bergarten og er høyere for sterkere bergart. På grunn av dette brukes Tabell 4 til å bestemme k for å korrelere punktlastindeksen med enaksial trykkstyrke.

Tabell 4 Anbefalte verdier for korreksjonsfaktor (NGB & NFF, 2000).

Trykkstyrke σ_c (MPa)	Punktlaststyrke I_{s50} (MPa)	Anbefalt korreksjonsfaktor K_{50}
25^{*)} – 50	1,8 – 3,5	14
50 – 100	3,5 – 6	16
100 – 200	6 – 10	20
> 200	> 10	25

^{*)} Bieniawski (1973) foreslår at punktlaststyrke testen ikke blir brukt på bergartsprøver med $\sigma_c < \text{ca. } 25$ MPa.

4.4.2 Resultat

Det var ikke alle prøvene som oppnådde ønsket datamengde på 10 gode klipp, men de fleste har nok datagrunnlag, og testene er utført så godt som mulig ut ifra erfaringen forfatter som gjorde punktlasttestingen hadde. Målet var å finne punktlaststyrke og anisotropiindeksen, som er oppgitt i Tabell 5. Fullstendig tabell for punktlasttestingen finnes i Vedlegg F. Figur 22 viser den gjennomsnittlige punktlaststyrken for diametral (a) og aksial (a) testing av de fire bergartsprøvene.

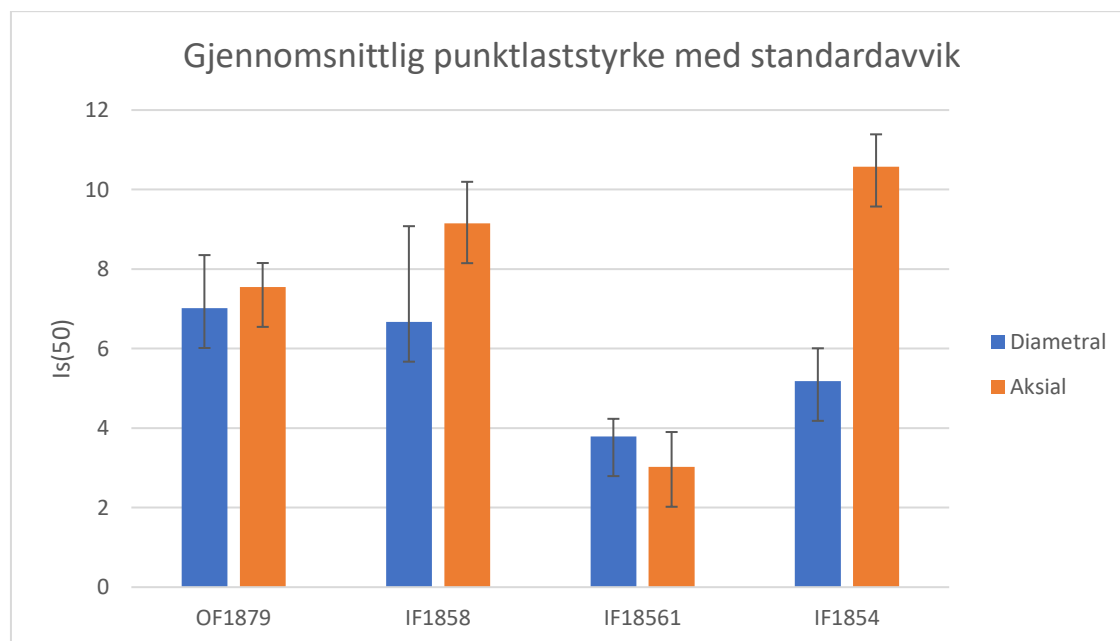
⊥ = normal på foliasjon/svakhet

// = parallelt på foliasjon/svakhet

Tabell 5 Resultater fra punktlasttesting.

	Parallelt //	Normalt ⊥	Anisotropiindeks	Isotropiske prøver
Prøve	Middel $I_{s(50)}$	Middel $I_{s(50)}$	$I_{a(50)}$	Middel $I_{s(50)}$
OF1879	7,49	7,42	0,99*	7,46
IF 1858	6,73	9,17	1,36	
IF 1861	3,94	3,31	1,19*	3,63
IF 1854	5,22	10,51	2,01	

*Anisotropiindeksen er ikke gyldig fordi testen ikke er utført normalt og aksialt på foliasjonen eller at prøven er isotropisk.



Figur 22 Gjennomsnittlig punktlaststyrke med standardavvik.

4.4.3 Tolkning av resultater

En av styrken til punktlasttesten er at **styrkevariasjoner** i prøven kommer godt fram. I prøven **OF1879** var det kaos i strukturen til bergarten slik at det var vanskelig å finne noen foliasjon å gå etter. Da prøven ble belastet var det ikke alltid bruddet ble gyldig, og dette medførte at det ble for få godkjente klipp. Noen av bruddene gikk ikke langs bruddpunktene og andre ble så skjeve at biten ikke lot seg teste aksialt etterpå. Den aksiale testen av OF1879 hadde store variasjoner i punktlaststyrke fra prøvestykke til prøvestykke og dette sier litt om denne bergarten; Den breksjerte strukturen er heterogen der noen områder er sterkere enn andre. Prøven hadde en samlet I_s på 7,28 som klassifiseres som medium høy styrke.

Under prepareringen av **IF1861** ble det erfart et bergarten var veldig skjør. Det gikk derimot overaskende greit å gjennomføre punktlasttesten med nok godkjente klipp. Prøven hadde en samlet I_s på 3,41 som klassifiseres som veldig høy styrke. Det var en del variasjoner i punktlaststyrken men standardavviket var lavt. Det var ingen tydelige foliasjonsretninger, så lastepunktene måtte vurderes ut ifra hvor klippet ville bli mest mulig vinkelrett på kjerneprøvens lengdeakse. Det var mye svakheter i prøven i form av antydninger til sprekker og store mineralansamlinger som glimmer. Bruddet gikk lettest langs disse svakhetene i bergarten.

IF1858 hadde en tydeligere foliasjon og anisotropi og ga de største styrkevariasjonene i samme lastretning på punktlasttesten. Bergarten viste foliering som det gikk an å klippe parallelt med og det var tykkere lag med kvarts med samme orientering. Det var store variasjoner i punktlaststyrken, spesielt diametralt. Bruddet hadde en tendens til å gå lettest i overgangen mellom kvarts og gneis. Kvartslinsene kunne motstå høyere last enn gneisen med en diametral punktlastindeks, $I_{s(50)}$, på 10,7 og 10,4 mot gneisen sin generelt lavere punktlaststyrke med en maks på 8,9. Testing direkte i kvartslinsene ble fjernet fra resultatet siden det var de to høyeste verdiene. Bruddet i gneisen fulgte derimot ikke alltid foliasjonen og bruddet gikk ikke alltid i lastepunktene. En test utført rett på grensen mellom kvarts og gneis ga en punktlaststyrke på 3,4. Prøven hadde en samlet I_s på 7,91 som klassifiseres som veldig høy styrke.

IF1854 var den enkleste kjerneprøven å gjøre punktlasttesting på. Foliasjonen var tydelig og det nesten alltid jevne klipp langs foliasjonen på de diametrale parallelle testene. Dette gjorde aksial testing lettere og få normalt på foliasjonen. Det var lite styrkevariasjoner i prøven, sett bort i fra forskjellen mellom testing parallelt og normalt på foliasjonen. $I_s = 7,88$ veldig høy styrke.

Anisotropiindeksen

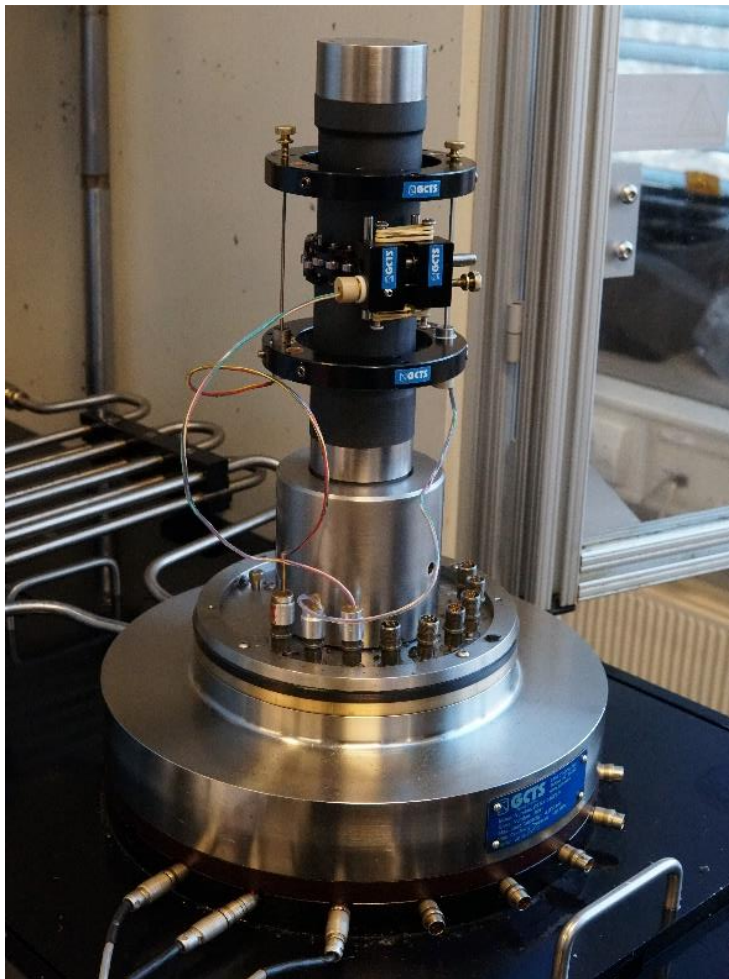
I prøven **OF1879** var det som sagt kaos i strukturen, og dette gjenspeiles i resultatet med at anisotropiindeksen på 1,08 som er isotropisk ifl. tabell. Man kan egentlig se bort ifra dette resultatet siden punktlasttestingen ikke kunne bli utført parallelt og normalt på noen lagdeling som er et krav for å regne ut anisotropiindeksen. **IF1861** er ganske anisotropisk med en $I_{s(50)}$ på 1,26, men også her var det ingen foliasjon å gå etter, ergo $I_{s(50)}$ er ugyldig. **IF1858** har en $I_{s(50)}$ på 1,37 som er ganske anisotropisk. **IF1854** er meget anisotropisk med en $I_{s(50)}$ på 2,04. Resultatet er nokså lik lokaliteten IF1854, som bare var to meter unna i tunnelen, men mer anisotrop.

Diameteren brukt i utregning av resultater er satt til 32 i hele testen. Egentlig burde diameteren ha blitt målt av på prøvestykket for hvert klipp. Det ville vært noen få titalls millimeter variasjon her, men jeg har valgt å sette diameteren til 32 mm i hele testen. Det er denne dimensjonen kjerneprøvene ble boret i. Dette valget er grunnet at usikkerheten i å måle avstanden for hvert klipp anses å være større enn avviket ifra kjernediameteren på 32 mm.

4.5 Lab -Enaksial trykktest

4.5.1 Utførelse

Enaksial trykktesting er utført den 1. og 2. februar 2018 sammen med overingeniør ved NTNU, Gunnar Vistnes. Denne testen er den mest anvendte metoden for å bestemme bergarters mekaniske egenskaper (B. Nilsen, 2016). Denne metoden har som formål å måle den enaksial trykkstyrken til bergartsprøver. Med dette får man en styrkeklassifisering og karakteristikk til intakt berg. Til dette brukes en GCTS RTR-4000 bergpresse (figur 23), med maksimal aksiallast på 4000 kN (NTNU, 2018). Den påfører trykk på to plater i hver ende av prøvestykket. Presset fra apparatet virker i en retning, eller akse. Prøvestykket skal være sylindrisk med rett vinkel til bunn- og topplaten og ha et høyde til diameter forhold på 2,5-3,0. En diameter på ca. 54 mm er å foretrekke. Antall prøvestykker skal vurderes i forhold til bruken, men minst fem stykk er anbefalt (ISRM, 1979).



Figur 23 Kjerneprøve montert i bergpressen (Foto: T. K. Weydahl).

Trykkforsøkets resultater avhengig av forsøksbetingelsene:

- Prøvestykkets vanninnhold
- Lengde-/diameterforhold L/D
- Friksjonsforholdene mellom prøvestykkets endeflater og lasthodene

Etter at testen er utført får man direkte en verdi for enaksial trykkstyrke. Den enaksiale trykkstyrken, σ_c defineres som:

Formel 9 Enaksial trykkstyrke (Li, 2017)

$$\sigma_c = \frac{P_{maks}}{A}$$

Dette er den maksimale lasten prøven har tålt under testen delt på det originale tverrsnitt-arealet.

Tabell 6 brukes til å klassifisere bergartens styrke.

Tabell 6 Klassifisering av enaksial trykkstyrke (NGB & NFF, 2000).

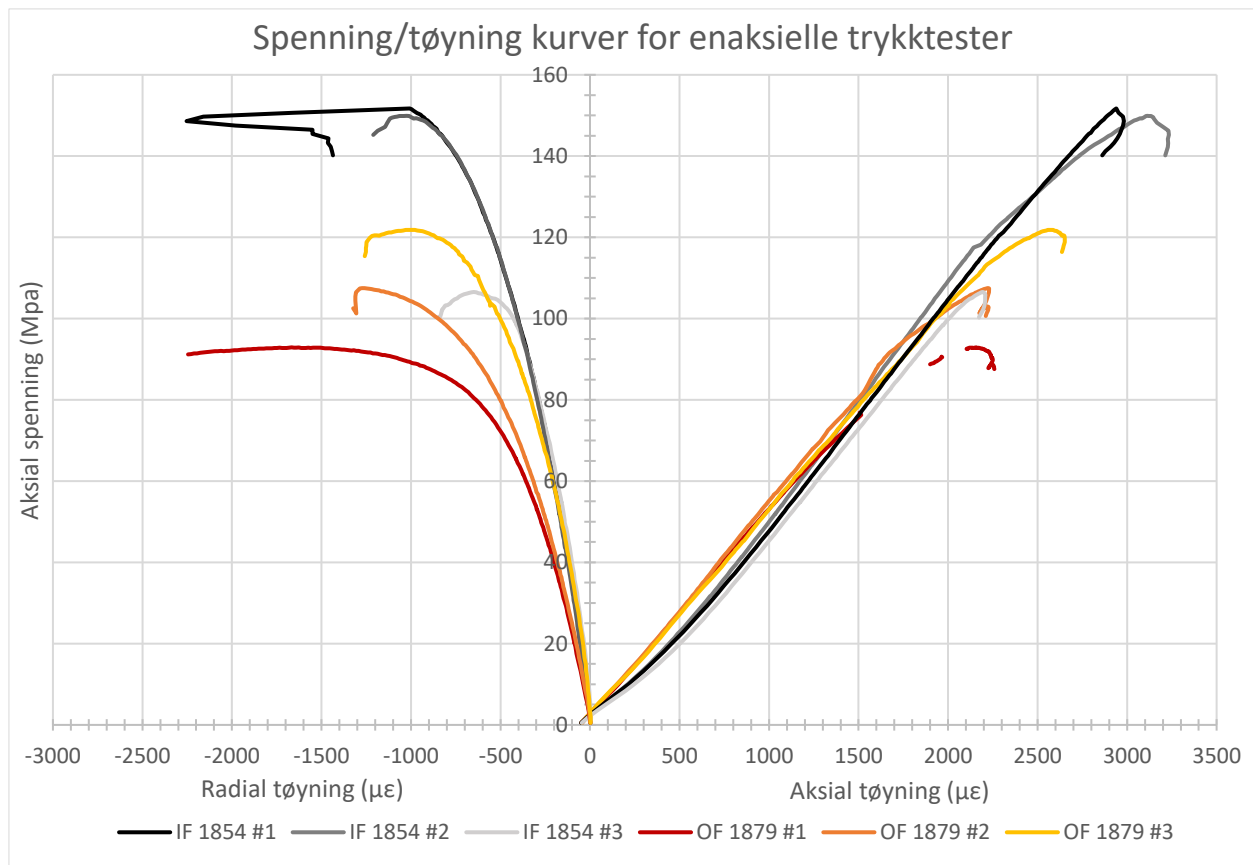
Kategori	Enaksial trykkstyrke σ_c (MPa)
Ekstremt lav styrke	0,25 – 1
Veldig lav styrke	1 – 5
Lav styrke	5 – 25
Medium styrke	25 – 50
Høy styrke	50 – 100
Veldig høy styrke	100 – 250
Ekstremt høy styrke	> 250

Den enaksiale trykktesten gjør det mulig å lage et diagram for å se utviklingen av spenning og tøyning i form av kurver. Y-akse er da σ og X-akse er tøyning, eller relativ deformasjon.

Negativ tøyning betyr radiell utvidelse/ekspansjon og positiv tøyning står for aksiell kompresjon.

4.5.2 Resultat

Det var til sammen seks kjerner som ble trykktestet, tre fra lokaliteten IFL 1854 og tre fra OFL 1879 (figur 24). Testingen er kjørt med radial tøyningsskontroll med -400 microstrain per min. Testen viser generelt at IF1854 ga noe høyere enaksial trykkstyrke enn OF1879. Alle kjerneprøveparameterne med resultater fra testen er vist i vedlegg G-1. Videre i dette kapitlet følger observasjoner for de enkelte prøvestykkene. Vedlegg G-2 viser alle kjerneprøvene etter testingen.



Figur 24 Resultat for enaksial trykktest. Aksial spenning (x-akse) mot tøyningen (y-akse) for seks prøvestykker.

IF1854 #1: Den radiale tøyningen gikk ned litt før kurven begynte å synke. Kan være uregelmessigheter og ikke materialstyrken. Kjernen viste en mellomting mellom skjærbrudd og langsgående splitting der flere av bruddene følger svakheter. Denne prøven hadde den høyeste enaksiale trykkstyrken av alle som ble testet, med $\sigma_c = 152$ MPa, veldig høy styrke.

IF1854 #2: Lastingen ga langsgående splitting som bryter ut i begge ender av kjernen og dette var den eneste kjerneprøven som falt lett fra hverandre langs bruddet (figur 25). $\sigma_c = 150$ MPa, veldig høy styrke.



Figur 25 IF1854#2 Langsgående splitting. Eller enkelt skjærbrudd.

IF1854 #3: Denne kjernen viser et bra eksempel på enkelt skjærbrudd. $\sigma_c = 107$ MPa, veldig høy styrke.

OFL 1879 #1: Under testen mistet den ene axiale sensoren kobling som ga glipper i kurven. Bruddet er et enkelt skjærbrudd som har tendens til å følge svakheter. Dette var den svakeste kjerneprøven med $\sigma_c = 93$ MPa, høy styrke.

OFL 1879 #2: Etter testen har kjernen fått et komplekst skjærbrudd. $\sigma_c = 108$ MPa, veldig høy styrke.

OFL 1879 #3: Denne kjernen har fått brudd i nederste halvdel. Det er flere sprekkeretninger og sprekker som splitter enden av kjernen (figur 26). $\sigma_c = 122$ MPa, veldig høy styrke



Figur 26 Kjerneprøve OF1879#3 med knust nedre halvdel.

4.5.3 Tolkning av resultater

Det er også viktig å ha med retning på foliasjon, og hvordan ser bruddet ut. Det er bra hvis det er knusning i bruddet, for da er det brutt opp og ikke bare løsnet. I den enaksiale trykktestingen kan en ikke stole på én verdi, man må ha med alle ytterpunkter. Jo flere prøver jo bedre. Det er luksus å kunne velge ut prøver som er representativ, og den største feilkilden er hva vi tar med fra felt. I bergmekanikk kan det bli for mye fokus på at man må ha én verdi, mens egentlig hadde det vært gunstig med et spekter av verdier. Stein er uforutsigbart og det er viktig å se variasjonen (Vistnes, 2018).

Prøvene hadde tørket i tørket i ca. 4 måneder siden prøveprepareringen og ca. 7 måneder siden prøvetaking, så prøvene regnes som helt tørre. Den enaksiale trykkstyrken reduseres vanligvis med økt vanninnhold. Ved bruk av tørre prøver kan bergartsstyrken overvurderes kraftig (B. Nilsen, 2016).

Tester gjort på skandinaviske bergarter og hos NTNU/SINTEF viser ifølge Goodman (1989) at gneis har en enaksial trykkstyrke, σ_c , på 130 MPa. Videre har granittisk gneis $\sigma_c = 89$ MPa, granodioritt $\sigma_c = 171$ MPa og dioritt $\sigma_c = 130$ MPa (NGB & NFF, 2000). Sammenlignet med prøvene som et testet legger IF1854 seg i nærheten av gneis og OF1879 seg i nærheten av granodioritt.

IF1854: Kjerneprøvene viser en foliasjon som går 70° på aksiallastretningen, noe som tilsier at den enaksiale trykkstyrken som ble oppnådd er lavere enn den optimalt ville vært med en vinkel på 90° .

OFL 1879: Bergarten er irreguler og kompleks. De små kornene har andre egenskaper enn de store. Bruddet blir påvirket av de store kornene. Det var både skjær, splitt og komplekse brudd med noe knusning i bruddet.

Test #2 skapte en ujevn kurve i diagrammet. Det skal ikke være sånn da det ikke gir mening hvis man tenker på materialet. Har ikke den vanlige starten med lukking av porer med mer tøyning.

Test #3 ga en høyere styrke men fortsatt litt ujevn kurve. Mer overflateareal det er friksjon på i den finkornete delen av prøven. Bruddet skjedde i den grovkornete delen av prøven.

4.6 Oppsummering av bergartsprøvens ingeniørgeologiske parameter

Dette kapittelet er for å gi en bedre oversikt over de forskjellige bergartsprøvene og resultatene laborietestingen har gitt. På laboratoriet var det lettere å vurdere hvilken bergart det var. Beskrivelsen fra felt var bare en midlertidig rask vurdering. I tabellene er UCS den enaksiale trykkstyrken og PLT resultater fra punktlasttestingen.

4.6.1 OF1879

Detter er breksjert gneis. Strukturen i bergarten er kaotisk og grovkornet (figur 27). De breksjerte delene er lysre enn resten, som er mørkt slik som IF1854. Bergarten kan delvis bekrefte av Borhull 841 som inneholder soner med breksjert gneis, amfibolitt og tynne lag med gneis (Jernbaneverket, 2014). Kartleggingsrapport fra samme pel viser kartlagt Q-verdi: 17,8.

Tabell 7 Oppsummering av bergartsprøve OF1879.

Lokalitet	UCS [Mpa]	PLT Diametral $I_{s(50)}$	PLT Aksial $I_{s(50)}$	PLT Anisotropiindeks $I_{a(50)}$	Dato funnet	Dato testet PLT/UCS
OF1879	107,40	7,02	7,55	1,08	11.08.2017	17.01.2018/ 01.02.2018



Figur 27 OF1879 breksjert gneis.

4.6.2 IF1861

Dette er granodiorittisk pegmatitt. Den er lys og inneholder mye kvarts. Bergarten knuses lett under boring og det var vanskelig å få lange kjerner. Det var den svakeste bergarten under punktlasttestingen, og det var tydelig glimmer i flere av bruddene (figur 28). Fra kartleggingsrapport har fjellet her en Q-verdi på 2,4.

Tabell 8 Oppsummering av bergartsprøve IF1861.

Lokalitet	PLT Diametral $I_{s(50)}$	PLT Aksial $I_{s(50)}$	PLT Anisotropiindeks $I_{a(50)}$	Dato funnet	Dato testet PLT/UCS
IF1861	3,79	3,02	1,26	20.06.2017	04.04.2018



Figur 28 IF1861 granodiorittisk pegmatitt fra punktlasttesting.

4.6.3 IF1858

Dette er granittisk gneis. Den er lysere og dermed mer granittisk. Kjernen viser tydelig bånding med lav av kvarts (figur 29). Fra kartleggingsrapport har lokaliteten Q-verdi: 2,4.

Tabell 9 Oppsummering av bergartsprøve IF1858.

Lokalitet	PLT Diametral $I_{s(50)}$	PLT Aksial $I_{s(50)}$	PLT Anisotropiindeks $I_{a(50)}$	Dato funnet	Dato testet PLT/UCS
IF1858	6,67	9,15	1,37	30.06.2017	08.02.2018



Figur 29 IF1858 granittisk gneis.

4.6.4 IF1854

Dette er diorittisk gneis. Den er tydelig foliert og inneholder veldig lite kvarts. Under punktlasttesting brøt den lett langs foliasjonen og viste klar styrkeanisotropi (figur 30).

Kartleggingsrapport fra samme pel viser Q-verdi: 2,4.

Tabell 10 Oppsummering av bergartsprøve IF1854.

Lokalitet	UCS [Mpa]	PLT Diametral $I_{s(50)}$	PLT Aksial $I_{s(50)}$	PLT Anisotropiindeks $I_{a(50)}$	Dato funnet	Dato testet PLT/UCS
IF1854	136,03	5,18	10,57	2,04	06.07.2017	04.04.2018/ 02.02.2018

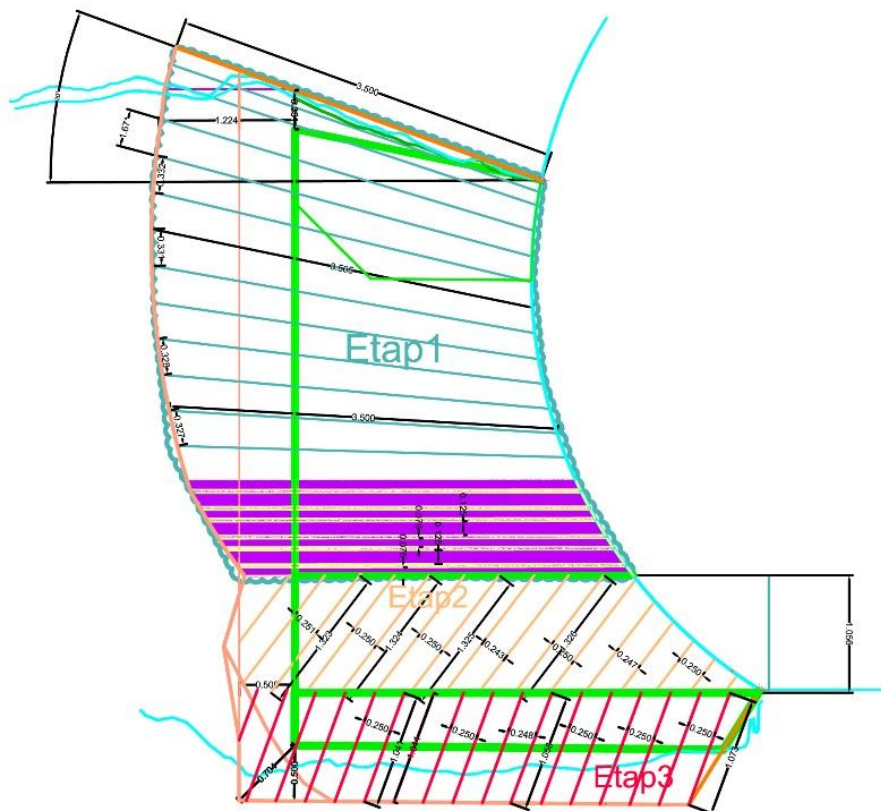


Figur 30 IF1858 diorittisk gneis fra punktlasttesting.

4.7 Andre anvendelsesområder

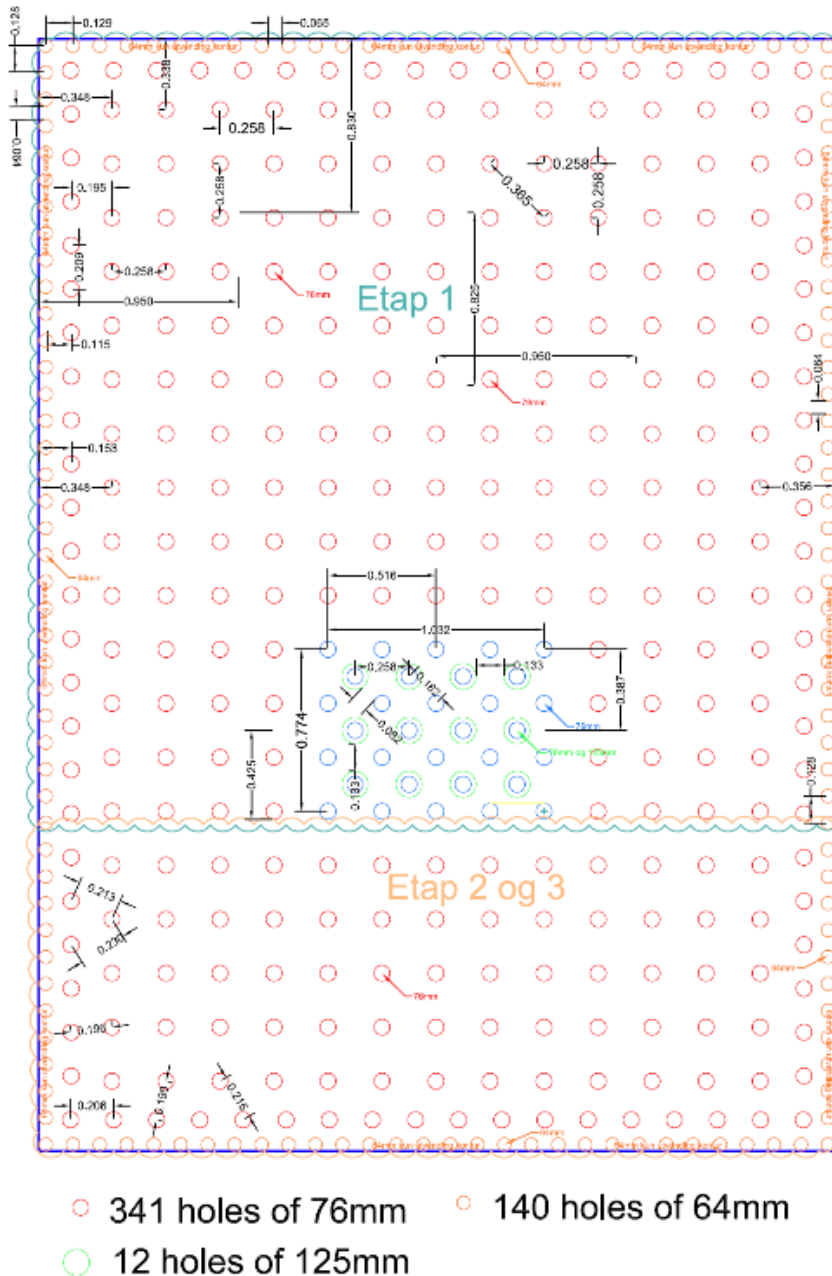
4.7.1 Drill&Split i tverrforbindelse på EPC TBM.

På EPC TBM blir 18,5 km av tunnelen bygget av Acciona Ghella Joint Venture ved å bruke fire tunnelboremaskiner (TBM). TBMene begynte å gå høsten 2016 og skal være ferdig med tunnelen vinteren 2018/2019 (BaneNOR, 2018a). Her bygges det tverrforbindelser mellom tunnellopene med ca 500 meters mellomrom. Hver forbindelse er på ca 25 m² og drives med konvensjonell sprengning og D&S (NFF, 2016b). Det er AF gruppen som driver der, og de bruker splitting på de første 2 m av tverrforbindelsen som kalles collar på hele eller deler av tverrsnittet. Splitterne som benyttes er av typen Darda-C20 (vedlegg H (Darda, 2018)). AF benytter drill & splitt på grunn av krav i kontrakten. Det er teknisk mulig å ta ut collar med sprengning innenfor rystelseskravene på betongelementene (200 mm/s), men kravene til mekanisk bryting kommer sannsynligvis på grunn av erfaringer fra andre TBM-tunneler har vist at sprengning også kan ødelegge omkringliggende elementer (Åbø, 2018). Betongelementene er fortløpende satt på veggene til den ferdigborete tunnelen. Geologien på strekningen er hovedsakelig gneis med innslag av amfibolitt og pegmatitt (NFF, 2016b).



Figur 31 Borplan for splitting av tverrforbindelse. 3 tre etapper, sett fra siden (Redigert fra (Åbø, 2018)).

Borplanen bruk på denne collaren er vist i figur 31, 32 og vedlegg I. De benytter et systematisk mønster med borhullsdiameter 76 mm der avstanden mellom borhullene er 258 mm. Konturen har 64 mm hull og 129 mm hullavstand. Kutten er laget rektangulært med med 12 grovhull (25 mm) i tillegg til de systematiske hullene. Hullubuden varierer fra 0,25 m i liggen til 3,5 m fra og med kutten og opp. Borplanen er altså litt annerledes i forhold til den det som var beskrevet i metoden i starten av oppgaven.



Figur 32 Borplan for splitting av tverrforbindelse (Åbø, 2018).

Erfaringer

AF har til nå er det blitt splittet 1 735 m³ på EPC TBM. Splitting her har vært en arbeidskrevende operasjon med mye boring av 76 mm hull. Denne store diameteren gir lavt borsynk. I tillegg er splitting en generelt langsom arbeidsmetode for en må bruke mye tid på smøring av splittere, vedlikehold og nøyaktig sikting for å unngå bøyning av utstyret når kilen stikkes inn i borhull. Inndriften er lav og fungerer best i harde/sprø bergarter. Det tar ca. 1 uke å fullføre en collar hvis hele tverrsnittet splittes. Det jobbes kontinuerlig med å redusere antall bormetere fordi der er svært ressurskrevende å bore så mye i denne dimensjonen med de små riggene. I en tverrforbindelse som gikk gjennom en svakhetssone erfarte de at pigghammer fungerte minst like bra inntil svakhetssonen. Det hender også at splitteren kjører seg fast hvis berget gir etter ved splitting, uten at det har sprukket opp nok til å komme ut (Åbø, 2018).

4.7.2 Splitting med borerigg

Etter at Bane NOR hevet kontrakten med Condotte har AF tatt over splitting på EPC D&B. De har eksperimentert med splitteutstyr på borerigg (figur 33 og 34). Dette var også noe det ble snakket om under oppholdet på anlegg i sommer kunne være en god idé for å effektivisere splittingen.

Metoden er testet på relativt liten mengde berg foreløpig, men der den er brukt har erfaringene vært gode. Boreriggen er brukt til splitting under Alnaelva der det har vært utvidelse i heng som har gitt godt utslag. Splitterne som blir brukt her er av typen Darda, de samme som på EPC-TBM. Dette er en ny type splitter, levert av Brokk Norge AS, som veier 375 kilo og som sies å være den letteste på markedet (Aarhus, 2018). For å få brukt redskapen til det fulle, trengs det en syvtonns-graver. AF Gruppen har benyttet fire splittere av denne typen det siste året på Follobanen. Brokk leverer fire forskjellige versjoner av splittere, to for vertikal og to for horisontal splitting. Kilesettet på disse splitterne er automatsmurt, slik at den som styrer graveren kan splitte 150 ganger uten å smøre om. Dette er en stor fordel, og det stikker heller ingen slanger ut på utsiden av splitteren (Aarhus, 2018).



Figur 33 Borerigg med splittere (Foto: Bane NOR).



Figur 34 Borerigg med splittere (Foto: Bane NOR).

4.7.3 Splitting for hånd

Ute i dagen på søndre portal i EPC D&B ble det brukt håndholdt bor, slegge og kiler for å fjerne bergmasse rett under Europaveg 18 (figur 35). Dette er en helt annen bruk av konseptet splitting i en mindre skala. Her skulle det bygges et nytt ventilasjonstårn som behøvde litt mer plass. Det ble også benyttet wire saging for å fjerne bergmasser på Søndre Portal. Slike forsiktige metoder må brukes når bergmasse skal fjernes tett innpå andre konstruksjoner for å ikke påføre skade.



Figur 35 Splitting med kiler og slegge ved Søndre portal (Foto: T. K. Weydahl, 2017).

5 Erfaringer og resultater fra driving

Tunneldringen startet sommeren 2015 med to adkomsttunneler fra den eksisterende Sjursøy tunnelen. I disse to tunnelene var det første stedet hvor metoden D&S ble benyttet. Metoden har senere blitt benyttet flere andre plasser men spesielt i forbindelse med kryssningen under E6 tunnelene (figur 7).

Etter at de hadde holdt på med splitting i rundt ett år skrev Bane NOR om erfaringene så langt i forbindelse med World Tunnel Congress og Fjellsprengningskonferansen. Dette var mot slutten av 2016 da ca. 60 % av tunneldringen var gjennomført og ca. 200 m tunnel var splittet på sju ulike stuffer (vedlegg B uke 49). Nærføringene til petroleumskavernene lang IOL er stort sett ferdig uten skader på infrastruktur. Dette har gitt en del erfaringsdata knyttet til fremdriften. Det er sett på flere faktorer som spiller inn på inndriften, blant annet geologi og måten det drives på. Ut over dette er det ikke noen skriftlige kilder på erfaringer fra follobaneprosjektet. Inndriftsdata etter desember 2016 er derfor videre analysert av forfatter i denne oppgaven. Dette kapittelet omfatter erfaringer fra prosjektet fram til desember 2016 (Lawton et al., 2017; NFF, 2016a, 2016c)

5.1 Inndrift

Så langt i prosjektet ligger inndriften generelt på mellom 3 - 6 m/uke, eller 0,5 - 1 m/dag med tverrsnitt på ca. 80 m². De ser at geologi har stor påvirkning på inndriften. Geologiske faktorer er oppsprekking, sprekkeretninger, sprekkemateriale og fjellets hardhet. Ulike bormønstre gir også utslag, og om D&S blir brukt i kombinasjon med sprengning. Videre er det erfart at metoden ikke gir stor inndrift selv i kombinasjon med sprengning.

Det er erfart at lave Q-verdier gir en god inndrift på splittingen. Det er en fordel at fjellets Q-verdi er lavere enn 10. De geologiske faktorer som påvirker inndriften er spesielt oppsprekkingsgraden og om det er materialfyll i sprekkene. Hvis sprekkorienteringen er gunstig kan de utnyttes i splittingen og gi bedre inndrift (NFF, 2016c).

Bane NOR har framstilt flere diagrammer som viser korrelasjon mellom inndrift og geologiske parametere (vedlegg J til K). Vedlegg J-1 viser inndriften for IOL, som har et tunnelprofil på 85 m² og en gjennomsnittlig inndrift på ca. 3 m/uke. Diagrammet viser også Q-verdi og tiden brukt på boring og splitting i forhold til hverandre. I diagrammet kan man se at inndriften øker i uke 36 og nærmer seg et snitt på 4,5 m/uke. Her er kuttet blitt sprengt, noe den også er blitt i uke 21,

men forholdet i tidsbruk på boring og splitting endrer seg ikke. Ved å sprengne kuttene får man en stor fri flate å splitte mot som er gunstig, man får en liten reduksjon i antall borehull og man slipper å bore selve slissen. Det ser ut til at sprengning øker dybden det går an å splitte per runde, med det er bare mulig der sprengningen ikke overskrider rystelseskrav. Uten sprengning, splittes det mot slissen for å lage en slags kutt, noe som har fungert greit. (figur 36) Grunnet lengden på splitterkilen tar det derimot lang tid å få ønsket dybde på kuttene. Når kuttene er ferdige går det ganske raskt og effektivt å splitte rundt denne. For effektiv splitting forutsettes det en erfaren operatør og det er sett at tidsbruket øker vesentlig når nytt personell kommer inn. Andre mener at en ny operatør ikke har stor påvirkning på inndriften og at utstyret er relativt enkelt å bruke.



Figur 36 Åpning av kutt med bruk av boret slisse (Jernbaneverket, 2016)

Bergmassekvaliteten er en annen faktor som kan påvirke inndriften. I diagrammet i vedlegg K-1 er det ganske lave inndrifter i ukene med høyest Q-verdi. Splittingen tar altså lenger tid der bergmassekvalitet er best, men forskjellene i inndrift er minimale, så dette er bare antakelser.

Inndriften oppnådd i adkomsttunnelen lengst sør er fremstilt i vedlegg J-2 og her er tunnelprofilen 50 m². Denne tunnelen ligger vinkelrett på jernbanetunnelene og som fører til at det splittes mot sprekkeseitt med en annen orientering. Inndriften er i starten ca. lik som i IOL, men etter uke 43 er det en tydelig økning. Dette er sannsynligvis grunnet gunstig sprekkeretning (Vedlegg M). Retningen på hovedsprekkeseittet ligger på tvers av profilet og er ganske steilt, som sprekkerosen fra forundersøkelsene viste (figur 18). Her har blokkene løsnet langs sprekkeretningen og gjort splittingen enklere. Vedlegg M viser også at det har vært splitting helt inn til enden av

borhullene. Generelt er erfaringen at dårlig bergmasse gjør splitting mer effektiv, og ved gunstige sprekkeorienteringer kan inndriften dobles.

Vedlegg K viser tidsforbruket per meter splittet plottet mot geologiske parametere. Det er en svak tendens til større tidsforbruk ved høyere Q-verdi, men korrelasjonen er ikke tydelig (Vedlegg K-1). Det kan være flere grunner til dette, og Q-verdien avhenger av flere faktorer.

Opprekkingsgraden er en av disse faktorene (Vedlegg K-2). Usikkerheten øker ved høyere verdier. Høyere grad av oppsprekking øker inndriften, men korrelasjonen er ikke tydelig. Tall for sprekkefylling (J_a) er en annen viktig faktor hvor man ser en klar tendens til lavere tidsforbruk med høyere J_a (vedlegg K-C).

5.2 Et godt resultat

D&S har langt lavere inndrift enn konvensjonell driving, men etterlater seg ofte et godt resultat. Det gir en fin tunnelkontur som med bare små avvik fra den teoretiske konturen. Dette gjelder spesielt der hvor bergmassene har god kvalitet uten alt for mange slepper og oppsprukne soner. Med D&S unngår man riss og skader påført omkringliggende fjell som man hadde fått med sprengning. Man kan drive tunnel nesten uten rystelser. Slike resultater gir god stabilitet og reduserer behovet for sikring, som ekstra sprøytebetong. Sikringen er likevel avhengig av faktorer som slepperetninger og oppsprekking, så D&S vil ikke i alltid gi redusert sikringsbehov (NFF, 2016c).

5.3 Utdringer

Det er flere ting som gjør at D&S er en tidkrevende og møysommelig prosess. Det er vanskelig å sikte seg inn på hullene, spesielt vanskelig er det å komme til i sålen. Dette gjøres til slutt og tar lang tid. Ofte må mange hull bores opp igjen fordi de er blitt helt tette. Det må veksles mellom splitting og rensking til man har det profilet man ønsker. Det er utfordrende å drive effektivt fordi steinmassene faller ned og tildekker hullene, og de må noen gang bores opp igjen. Det er også stor slitasje på splitterkilen som må byttes etter ca. hver 70 m³. Dette medfører høye vedlikeholdskostnader (Jernbaneverket, 2016).

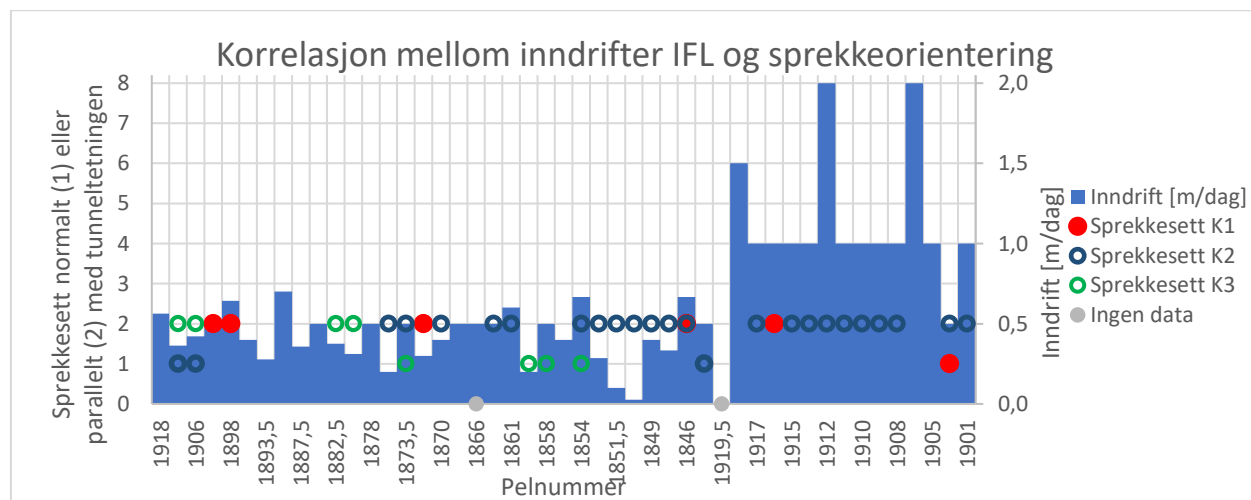
6 Analyse av sammenhengen mellom inndrifter oppnådd ved D&S og relevante ingeniørgeologiske parametere.

Dette kapittelet vil ta for seg diskusjon om korrelasjoner knyttet til inndrift.

Kartleggingsrapporter fra drivingen inneholder en del informasjon som er behandlet for å finne inndriften på de respektive pelnummerne i tunnelen. Disse rapportene har vært tilgjengelige for kryssingen av Ekeberg tunnelene. Vedleggene x og x viser tabeller med kartleggingsdata fra IFL, OFL og IOL som er brukt til analysene i dette kapittelet.

6.1 Korrelasjon mellom inndrifter og sprekkekarakteristikk

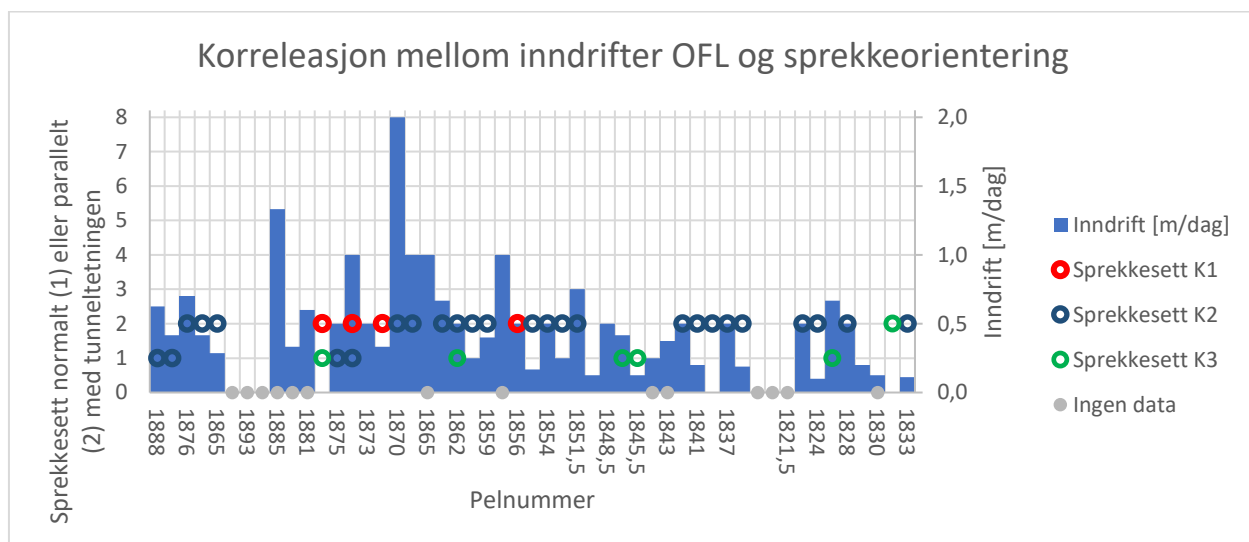
Med sprekkekarakteristikk menes det oppsrekningsgrad, sprekkelengde/kontinuitet og sprekkeretninger slik som det står i oppgaveteksten. Man skulle tro at det var en fordel at sprekkesett ligger parallelt med stoffen, altså normalt på tunnelretningen. Dette kan gjøre at fjellet bryter lettere løst utover siden sprekkesettet skaper en fri flate innerst. Gunstig sprekkeorientering er derfor sammenlignet med inndriften (figur37). For å lage dette diagrammet er det tatt utgangspunkt i sprekkemålingene i kartleggingsrapportene fra entreprenør. I Diagrammet er kravet for at et sprekkesett skal være parallelt med tunnelen et strøk som går parallelt med tunnelretningen ± 20 grader og en helning på 45-90 grader (potensielt løsnemråde for steinsprang) for at det lettere skal rase ut. Det samme er gjort for å finne sprekkesett normalt på tunnelretningen, som trolig er mest interessant av disse to sprekkeorienteringene. Det er gått ut ifra at Follobanetunnelene har retningen $N5^\circ V$ og IOL har retning $N10^\circ \text{Ø}$. Sprekkesett som har bestått kravet er blitt markert i diagrammet.



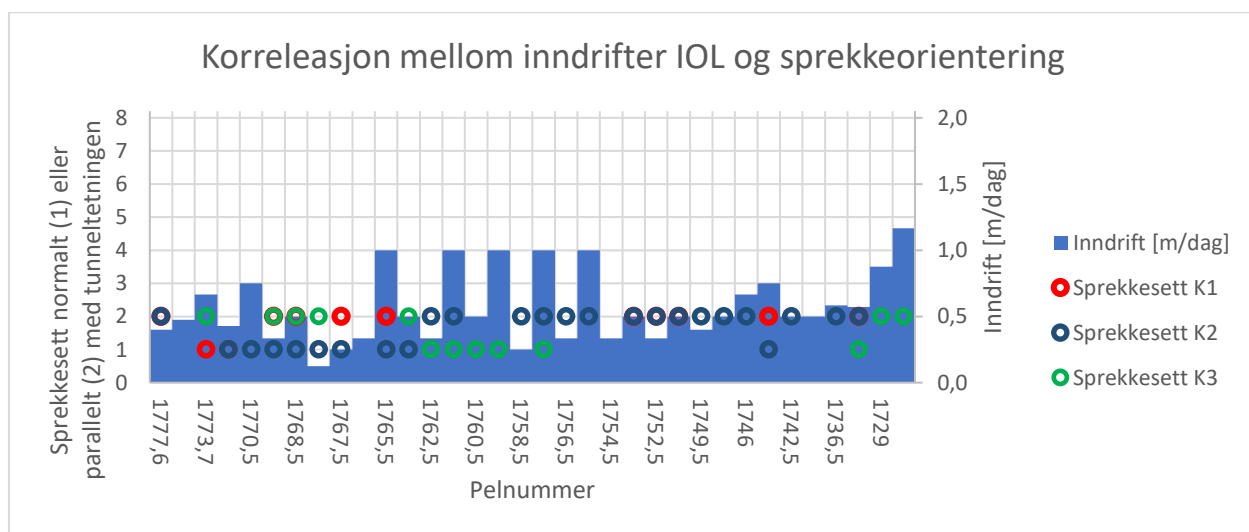
Figur 37 Inndriftsdata fra inngående Follobane satt opp mot sprekkeorientering.

Det er vanskelig å se noen korrelasjoner mellom sprekkeretning på IFL og inndrift. Man f.eks. se at på pel 1898 og 1846 er hovedsprekkesettet K1 parallelt med tunnelretningen og har relativt god inndrift, men totalt sett går det begge veier. På IFL virker det ikke som det har vært noen fordel at sprekeorienteringen er normalt og steilt på tunnelretningen.

Oversikt over sprekkeseett for OFL er presentert i figur. Det er ingen korreleasjoner som stikker seg ut i dette diagrammet. Pelnummere som har sprekkeseett normalt på tunnelretningen har både høye og lave inndrifter. Hvis det er noe man kan dra ut fra dette diagrammet, så kjennetegner de høyeste inndriftene å ha sprekkeseett parallelt med tunnelretningen.



Figur 38 Inndriftsdata fra Utgående Follobane satt opp mot sprekkeorientering.



Figur 39 Inndriftsdata fra inngående Østfoldbane satt opp mot sprekkeorientering.

For Inngående Østfoldbane er en tendens til bedre inndrift der det er sprekkese sett normalt på tunnelretningen.

Sprekkerosene (fig 18) som er utarbeidet fra IFL pel 1856 og 1852 under feltarbeidet og kan også sammenlignes med inndriften fra figur 37. Inndriften fra disse lokalitetene er henholdsvis 0,4 og 0,3 m/dag som er ca. gjennomsnittlig bra inndrift. For pel 1856 er ingen sprekkese sett merket som parallelle eller normale, mens pel 1852 har S2 er parallelt med tunnelretningen. Sprekkerosene viser derimot at S2 er parallelt for pel 1865, og S1 er ganske normalt på tunnelretningen både ved pel 1856 og 1852, noe som burde gi god inndrift. Det var også registrert leireminerale r begge steder under egen kartlegging.

Det skal sies at forfatter og entreprenør ikke er enig i hva som er sprekkese sett 1, 2 og 3 på de to lokaliteten. Tabell 11 viser en oversikt over dette.

Tabell 11 Sammenligning av sprekkese sett kartlagt av entreprenør og forfatter.

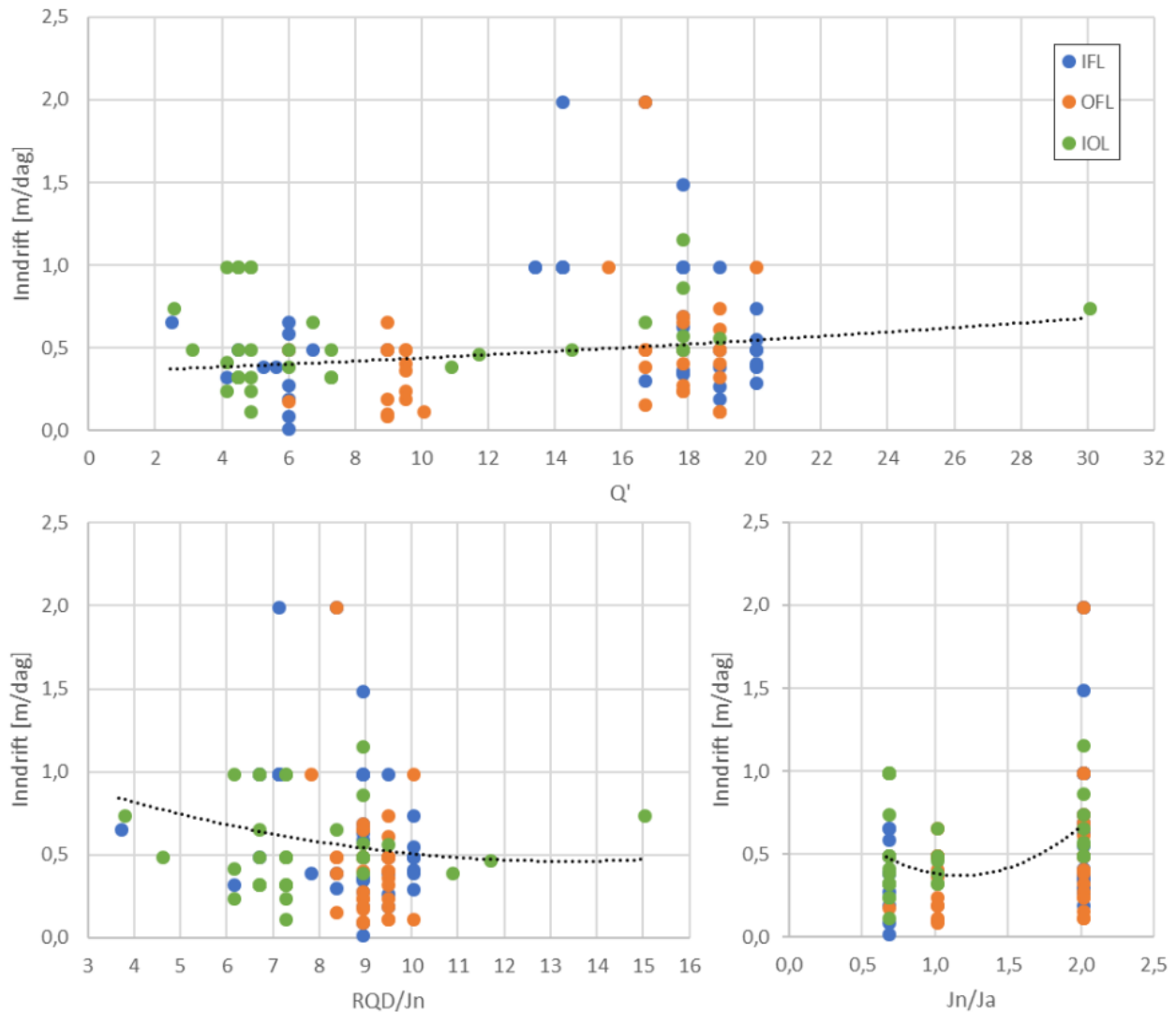
	S1/K1			S2/K2			S3/K3		
	Fall	Fallretning	Strøk	Fall	Fallretning	Strøk	Fall	Fallretning	Strøk
1856 Kartlagt av entreprenør	45	240	150	70	110	20	70	0	90
1856 Kartlagt av forfatter	65	340	70	80	95	5	45	195	105
1852 Kartlagt av entreprenør	45	230	140	70	270	180	70	10	100
1852 Kartlagt av forfatter	60	340	70	70	120	30	70	300	30

Hovedsprekkese settet, S1, er det som er mest utbredt og ofte parallelt med foliasjonen. F.eks. ser det ut som om det forfatter har kartlagt som S1 på pel 1856, har entreprenør kartlagt som K3. Sprekkese settene opptrer generelt ganske ulikt etter hvem som har kartlagt. Det viser at en man ikke kan stole helt på diagrammene over siden sprekkese settene er såpass ulike de som er detaljer målt med kompass i feltarbeidet. Egne sprekkese settundersøkelser er mer til å stole på da de er gjort mer systematisk enn entreprenør som ofte bare gjør en rask estimering under kartleggingene.

Sprekkerosene viser at sprekkene har en litt annen retning fra lokalitet til lokalitet. Dette tyder på variasjoner i fjellet og man kan ikke forvente samme sprekkese settorientering etter hvert som man splitter seg innover. Denne variasjonen kan kartleggingsrapportene støtte opp under. Det er gjort en test av Bane NOR å plote entreprenørens sprekkese sett fra mange kartlegginger inn i én sprekkese sett. Dette ga sprekker i alle retninger og ingen klare sprekkese sett. Dette sier også variasjonen i sprekkese settorientering.

6.2 Korrelasjon mellom inndrifter og bergmassekvalitet

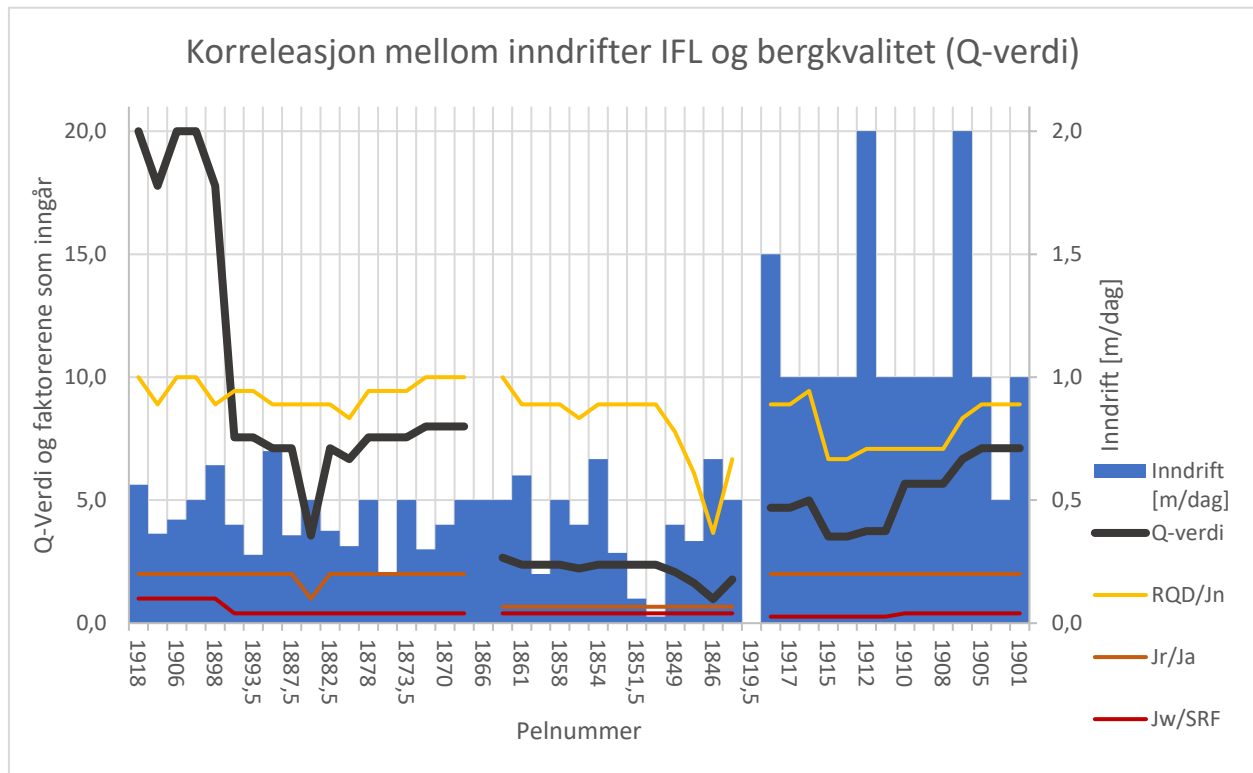
Alle inndrifter fra IFL, OFL og IOL er oppsummert i figur 40 og satt opp mot modifisert Q-verdi (uten SRF), oppsprekkingsgrad (RQD/J_n) og friksjonsforhold langs sprekker (J_r/J_a). I tillegg er den best tilpassede trendlinjen lagt til. Dette er trendlinjen der den R-kvadrerte verdien er nærmest 1, som gjør den mer pålitelig. Diagrammene under viser svak tendens til bedre inndrift ved økt Q'-verdi, redusert oppsprekkingsgrad og økt friksjonsforhold langs sprekker.



Figur 40 Inndrift plottet mot Q' , RQD/J_n og J_n/J_a for kryssingen av Ekeberg tunnelene.

Videre er det forsøkt å se mer detaljert på korrelasjoner mellom inndrift og bergkvalitet på hver av Follobanetunnelene og inngående Østfoldbane.

6.2.1 Inngående Follobane



Figur 41 Inndriftsdata fra Inngående Follobane satt opp mot bergmassekvaliteten i området mellom pel 1918 og 1846.

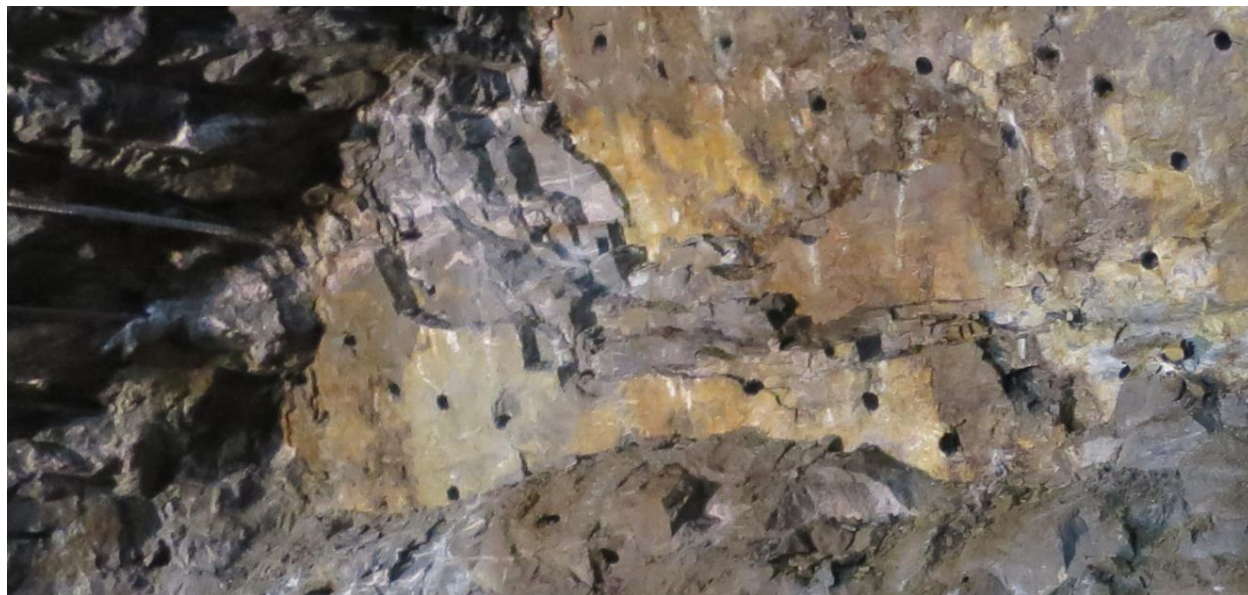
I diagrammet for IFL (figur 41) er kan man se hvordan Q-verdien og brøkene som inngår i Q-verdien varierer med pelnummerne og inndriften. Fra venstre er det først drevet en pilot med ca. halve tunnelprofilet, og etter pel 1844 har dem gått tilbake til pel 1919,5 for å splitte hengen, eller resten av tunnelprofilet. På pel 1866 mangler det data på bergkvaliteten.

I figur kan man se at steder hvor det er fall i Q-verdi, som ved pel 1884 og 1846, er det stigning i inndrift.

SRF er spenningsfaktoren og beskriver forholdet mellom bergspenninger og bergartsstyrken omkring et bergrom (NGI, 2015). I follobanetunnelen kan en se at denne faktoren har stor innvirkning på Q-verdien. Som et eksempel går Q-verdien fra 17,8 til 7,1 fra pel 1898 til 1890 hvor den eneste forskjellen er at SRF er økt fra 1 til 2,5. SRF verdi på 1 er gunstige spenningsforhold i kompetent berg, mens SRF på 2,5 er lave spenninger nær overflaten, også i kompetent berg (NGI, 2015). Grunnen til denne forandringen i SRF er at man kommer inn i et område hvor det er veldig liten overdekning til E6 tunnelene som går over. Det ser ikke ut til at

overdekningen har noen effekt på inndriften (det er ingen synelig korelasjon mellom inndrift og SRF).

Under feltarbeidet til forfatter ble det også observert sprekkefyll (Vedlegg E). På IF1856 ble det av forfatter observert tydelig leirfylling i sprekkesett S1 (entreprenørs K3) (Figur 42/vedlegg D-4). Det ble sagt av deres geolog under kartleggingen at dette leirmineralet er til hjelp for splittingen.



Figur 42 Sprekkesett med leirfylling (vedlegg D-4).

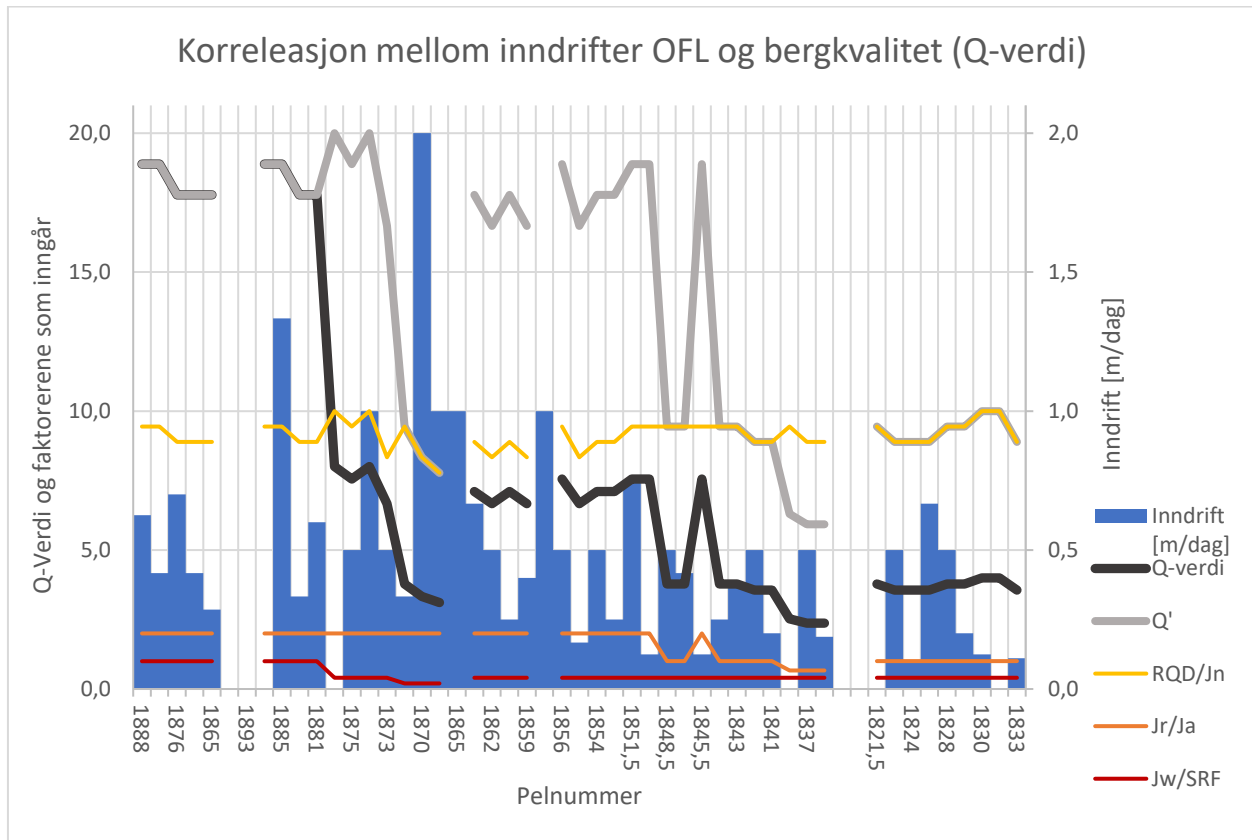
På IF1852 ble det observert leiremineral i sprekkesett S2.

I Vedlegg kan man se at hele strekningen fra pel 1864 til 1844 har mineralfyll i sprekker og Jr/Ja er laver her som det kommer frem i figur. Denne strekningen skiller seg ikke ut fra tunnelen ellers, så fra det alene kan man ikke se noen korrelasjon. Men, fra feltarbeidet var det stor forskjell i hvor omfattende sprekkefyllingen var fra pel 1856 til 1852 som man kan se på bildene (vedlegg D). IFL 1856 har en mer utpreget sprekkefylling i S1 som går tilnærmet parallelt med stoffen og har en noe høyere inndrift enn IF1852 som diagram viser. Ut i fra bildene (vedlegg D) virker IF1852 mer kompetent enn 1856. Dette kan tyde på at bergartskvaliteten øker litt innover her, noe som kan forklare nedgangen i inndrift fra IFL 1858 til IFL 1851.

Et annet pelnummer å merke seg er IFL 1884. Her er det en nedgang i Jr/Ja og en økning i inndrift.

6.2.2 Utgående Follobane

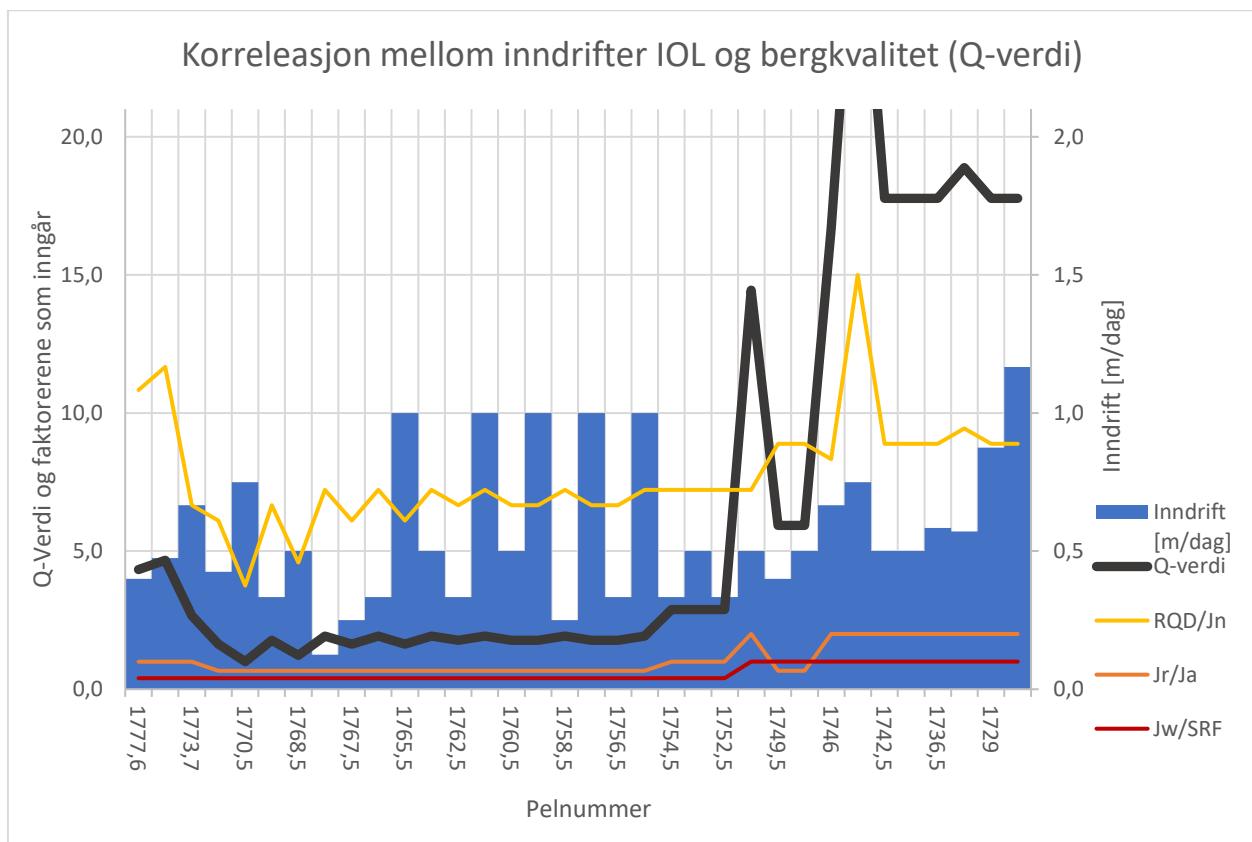
Inndriftsdata og Q-verdi for OFL er presentert i figur 43. Det man kan se ut fra dette diagrammet er at fra pel 1851 til 1843 har Jr/Ja korelasjon med inndriften. En lavere Jr/Ja gir bedre inndrift i dette tilfellet. Det er vanskelig å finne korelasjon mellom inndrift og RQD/Jn da det i dette diagrammet er litt tilfeldig inndriften er høyere eller lavere med økt RQD/Jn.



Figur 43 Inndriftsdata fra Inngående Follobane satt opp mot bergmassekvaliteten i området mellom pel 1888 og 1820.

6.2.3 Inngående Østfoldbane

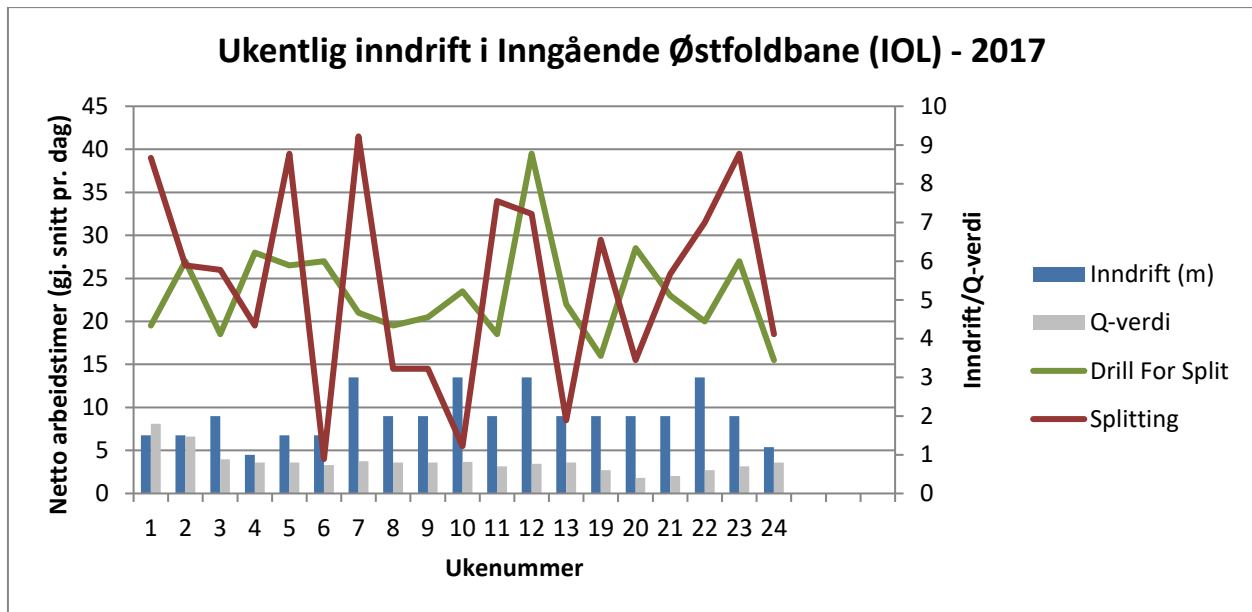
På IOL kommer det frem noe korrelasjon mellom inndrift og RQD/Jn (figur 44). Begge disse verdiene går mye opp og ned og inndriften er ofte bedre der RQD/Jn går ned. RQD/Jn går spisst opp i pel 1744,5 hvor også den høyeste Q-verdien på 30 er. Her er også inndriften bedre, noe man ikke skulle tro. Det kan forklares med at friksjonsforholdet langs sprekkene (Jr/Ja) går opp her. For både her og pel 1751,5 går både inndrift og friksjonsforholdet langs sprekkene opp. Det er en mer gjevn og god inndrift fra og med pel 1751,5 der hvor egentlig alle tre faktorene stiger slik at Q-verdien er mye høyere. Det er likevel ikke sikkert inndriften er høyere på lang sikt der Q-verdien er høyere.



Figur 44 Inndriftsdata fra Inngående Østfoldbane satt opp mot bergmassekvaliteten i området mellom pel 1777,6 og 1725,5.

6.2.4 Ukesinndrift basert på dagsrapporter

I tillegg til det Bane NOR har fremstilt i vedlegg J, er det i denne oppgaven gjort videre fremstilling av ukesinndriften for 2017 i figur 45 nedenfor. Her kan man i tillegg til Q-verdien se hvor mye tid som er brukt på aktivitetene boring og splitting. Der det er brukt lite tid på splitting, men likevel høy inndrift slik som i uke 10, kan man tenke seg at det har vært gode splitteforhold. Diagrammet for IOL går fra pel 2873-2910,5 som er partiet lengst sør på IOL. For Follobanene var det ikke mer enn to til fem uker med data som ikke ga noe bra oversikt, og ble derfor ikke tatt med.



Figur 45 Inndriftsdata fra IOL sør.

6.3 Korrelasjon mellom inndrifter og ingeniørgeologiske parametere

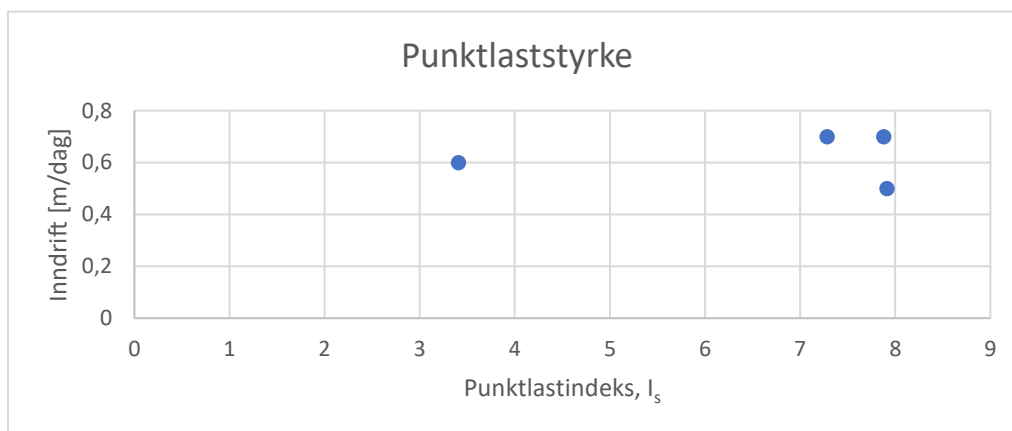
I tillegg til sprekkekaraktistikk og bergmassekvalitet er det gjort tester på laboratoriet for å finne ingeniørgeologiske parametere fra bergartsprøvene som er samlet. Disse parameterne er punktlaststyrken, styrkeanisotropi og enaksial trykkstyrke. Tabell 12 viser en oppsummering av labresultatene. I tillegg er det i denne tabellen brukt en korrelasjonsformel for å omgjøre punktlastindeksen, I_s , til enaksial trykkstyrke σ_c (se teori). I den siste raden er inndrift verdier hentet for respektive pelnummer fra Vedlegg G-1 som parameterne skal sammenlignes med.

Tabell 12 Ingeiørgeologiske parametere testet på laboratorium.

Lokalitet	IF1861	IF1858	IF1854	OF1879
Bergartstype	Granodiorittisk pegmatitt	Granittisk gneis	Diorittisk gneis	Breksjert gneis
UCS [Mpa]			136,03	107,40
PLT gjennomsnittlig $I_s(50)$	3,41	7,91	7,88	7,28
PLT Anisotropiindeks $I_a(50)$	1,26	1,37	2,04	1,08
K	20	20	20	20
Omregnet σ_c	68,2	158,2	157,6	145,6
Inndrift [m/dag]	0,6	0,5	0,7	0,7

6.3.1 Punktlaststyrke

Punktlasttestingen ga et gjennomsnittlig resultat for hver av de fire lokalitetene og er plottet i diagrammet under (figur 46). Diagrammet viser en svak tendens til at inndriften øker med høyere punktlaststyrke, men det er ingen klar korrelasjon her. Tester gjort på flere bergartsprøver og flere lokaliteter kunne gjort det lettere å se korrelasjoner.



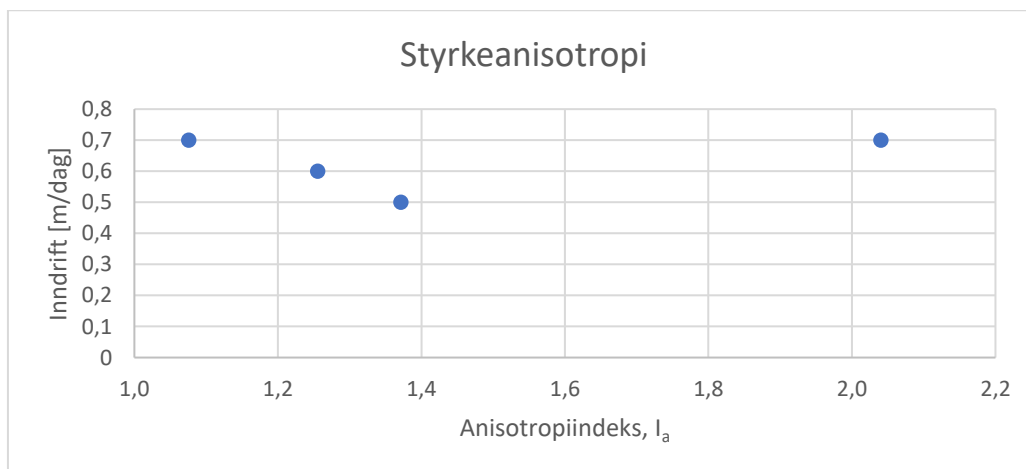
Figur 46 Diagram der inndriften er satt opp imot bergartsprøvens punktlastindeks.

Bergartsprøven hentet fra Pel IF1861 var ikke «typisk» for lokaliteten. Prøven var pegmatitt som det var en viss mengde av, og hensikten var å se om innholdet av pegmatitt hadde effekt på inndriften. Det er vanskelig å koble det til inndriften med bare denne lokaliteten, men det er tydelig at pegmatitten har mye lavere bergartsstyrke enn gneisene. Pegmatitten gikk også lett i stykker under kjerneprepareringen, så det er rimelig å tro at det er lettere å splitte denne bergarten. Man kan også tenke seg at bergarten knuses for lett der splitterkilen presser mot borhullet og at sprekkene i fjellet ikke utvikler seg langt nok til å nå fri flate.

Kartleggingsrapportene viser at pegmatitten dukker opp fra pel 1864, har størst utbredelse på pel 1860, og er borte igjen til pel 1854 (vedlegg N). Sammenlignes dette med inndriften for samme pelintervall (Figur 43), kan en se en stor nedgang i inndrift akkurat på pel 1860 der det er mest pegmatitt. Samtidig er det en nedgang i RQD/ J_n (Oppsprekkingsgrad) med økt pegmatittinnhold.

6.3.2 Styrkeanisotropi

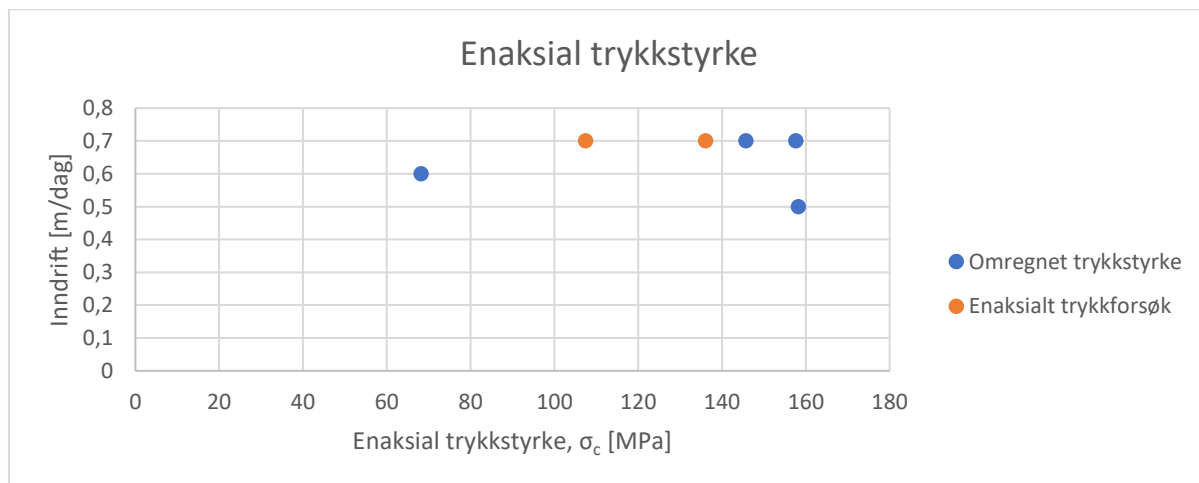
Styrkeanisotropien er regnet ut fra forholdet mellom punktlaststyrken parallelt og normalt på foliasjonen eller svakheten i bergarten. Igjen er det få punkter å vurdere etter slik det også var for punktlaststyrken. Hvis man i tillegg ser bort ifra OF1879 og IF1861 som ikke hadde noen tydelige foliasjonsretninger, er det bare igjen to punkter. Dette er de punktene med høyest anisotropiindeks i diagrammet under (figur 47). Hvis man bare se på korrelasjonen for disse to punktene, kan man se at inndriften er større ved høyere styrkeanisotropi.



Figur 47 Diagram der inndriften er satt opp imot bergartsprøvens styrkeanisotropi.

6.3.3 Trykkstyrke

Enaksialt trykkforsøk ble utført på to forskjellige bergartsprøver som utgjør de to oransje punktene i diagrammet (figur 48). For å få flere punkter å korrelere inndriften til var det greit å kunne regne om punktlastindeksen til enaksial trykkstyrke (formel). Disse omgjorte verdiene vises som blå punkter i diagrammet, med det er en viss usikkerhet koblet opp mot en sånn omregning fra punktlaststyrke til enaksial trykkstyrke. Dette er gjort med en empirisk korrelasjonsformel som er mer usikker i sterkt anisotrope bergarter enn i isotrope. For én punktlaststyrkeverdi kan egentlig den enaksiale trykkstyrken være veldig varierende, så for de nivåene her av punktlaststyrke så kan den enaksiale trykkstyrken variere innen ganske vide grenser. Det er ikke noe matematisk relasjon mellom de to parameterne. Det er altså 4 pelnummer som er plottet i diagrammet, der IF1854 og OF1879 er representert to ganger hver (som er de fire punktene med inndrift 0,7). De omregnede verdiene ga altså høyere trykkstyrke enn de som faktisk ble testet i det enaksiale trykkforsøket. Resultatene må altså brukes med forsiktighet, men de viser en svak tendens til høyere inndrift ved høyere enaksial trykkstyrke.



Figur 48 Diagram der inndriften er satt opp imot bergartsprøvens enaksiale trykkstyrke.

6.4 Feilkilder

Resultatene fra driving viser en inndrift som må betraktes med forsiktighet siden det er en del feilkilder som er påvirkende undersøkelsene:

- Inndriften er veldig avhengig av tverrsnittet som splittes, altså hvor mye kubikkmeter stein som må tas ut per meter inndrift. Under kryssingen av Alnaelva og E6 er det drevet en pilot med ca. halve tverrsnittet.
- Angående arbeidstimer brukt på strekningen forbi kartleggingslokalitetene, så finnes det ikke data for hvor mange dager det er blitt arbeidet på tunnelen og mye tid som faktisk er brukt på splittingen. Dette kommer frem i dagsrapportene laget av entreprenør, men denne praksisen er bare blitt utført regelmessig under splittingen på IOL.

Andre feilkilder:

- Det er brukt 3 kjerneprøver på UCS i stedet for 5.som er minimum.
- Egentlig for få lokaliteter til å sammenligne inndrift og ingeniørgeologiske parametere. Etter å ha gjort dette gir det i beste fall bare en pekepinn eller noe man kan underbygge andre erfaringer med. Alt for få punkter etter egen mening.
- Man må også stole på inndriftsdataene fra lokalitetene for å kunne tenke korrelasjoner. Det er som sagt usikkerheter rundt dette da det er usikkert hvor mye tid som er brukt på splitting.
- Bergartsprøven hentet fra Pel IF1861 var ikke «typisk» for lokaliteten.

7 Analyse av tidligere prognoser

7.1 Sammenligning mellom oppnådde D&S resultater og numeriske analyser

Masteroppgaven til Jens Anders Volden gikk ut på å undersøke anvendbarheten av D&S under de anslåtte geologiske forholdene på Follobanen. Hovedfokuset gikk ut på å gjennomføre numeriske analyser for å undersøke spenningsfordeling og utløsning av berg under splitting. I tillegg ble det undersøkt betydningen de forskjellige bergmasseparameterne har på splittingsprosessen. Med dette kunne man få en økt forståelse av splitting i forskjellige grunnforhold (Volden, 2015).

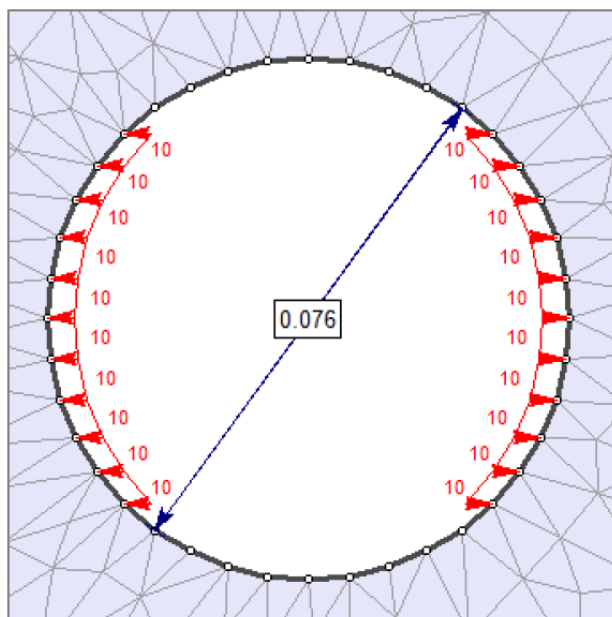
Gjennom sine undersøkelser fant han ut at D&S er den mest aktuelle metoden siden det er den eneste valgmuligheten som tilfredsstillende disse kriteriene:

- Ingen rystelser utenom boringen
- En høy grad av fleksibilitet opprettholdes under bygging
- Effektiv bryting av hardt fjell
- Egnet for driving av relativt korte partier

De numeriske analysene er gjort med dataprogrammet Phase² som modellerer, beregner og tolker i to dimensjoner ved å bruke «finite element method» for utregning. Det betyr at designet er delt inn i små elementer slik at en kan se hvordan elementene bli påvirket av ulike spenningsforhold og om de går i brudd eller ikke. Modellen bruker parameterne UCS, m_i (konstant basert på bergartstype), GSI (Geological Strength Index) og D (Forstyrrelsesfaktor), som er bergartsparametere Volden hentet ut fra sine bergartsprøver.

Det er modellert med ideelle situasjoner med homogent fjell, men det er tenkt at i virkeligheten er det svakhetssoner som går normalt på tunnelretningen. Resultatene fra driving viser at det stemmer, men det er også mange steder der fjellet er massivt relativt homogent som kan være nærliggende bergmassen som er modellert.

Modellen er designet med tanke på et borhull i stedet for hele tunnelprofilet, da det ga for store utfordringer. Modellen påfører borhullsveggene trinnvis 10 MPa opp til 50 MPa for å se hvor mange elementer som går i brudd med økt pålastning (figur 49).



Figur 49 Første trinn i modellen der splitterkilen pålaster 10 MPa trykk på sidene av borhullsveggen.

Videre er modellert med en fri flate som berget kan bryte mot. Dette gjør at opprekkingen ikke bare er begrenset av styrken på bergarten rundt. I virkeligheten er splittingen begrenset av maks utvidelse av kilen heller enn mangel på kraft. Dette var merkbart under forfatters feltarbeid også. Hvis operatøren av splitteren prøver å splitte et hull som allerede var utvidet, men ikke gitt blokkutfall, kunne kilen nå maks utvidelse uten at det skjedde noe med fjellet. Det er derfor gjort videre analyser med ulike frie flater ved siden av borhullet, der borhull i en bue med avstand 0,5 m til en sirkulær fri flate ble sett på som mest realistisk. En rettlinjert fri flate ga derimot den beste sprekkeutviklingen. Det anbefales kortere avstand mellom borhull for bedre sprekkeutvikling, men det er usikkert om tiden og kostnaden flere borhull medfølger lønner seg fremfor å bore lengere hull som kan brukes flere runder.

Det antas at dominerende sprekkeorienteringer i stoffen har stor påvirkning på bruddutviklingen, som vil prøve å følge eksisterende sprekker. Dette er fordi mindre kraft må til for å gjenåpne eksisterende sprekker enn å starte nye. GSI parameteren tar litt hensyn til dette, men ikke når det gjelder orientering til stoff. Det antas at borhullmønsteret kan utnytte eksisterende sprekker og gjøre splittingen enklere, og kanskje øke borhullavstanden for bedre produktivitet. Borhullene på Follobanen er først og fremst utført etter systematiske borplaner som ikke endrer seg etter de geologiske forholdene. Dette var også foreslått av Volden. Tunneldrivingen har bevist at oppsprekingsgraden og sprekkeretningene har hatt stor betydning på produktiviteten.

Volden har også gjort en sensitivitetsanalyse av de forskjellige parameterne for å se hvordan resultatet blir påvirket ved å øke/minke én parameter av gangen. Det ble funnet at parameterne GSI ga størst utslag på resultatet, og UCS og mi hadde noe innflytelse. En økning av disse parameterne ga redusert brytning av fjellet.

Spenningssituasjonen i Ekebergåsen ble også tatt hensyn til i de numeriske analysene. Det ble oppdaget at økning av styrke i det hydrostatiske spenningsforholdene reduserer effektiviteten av splittingen tilsvarende. Anisotropi i spenningsforholdene er også en signifikant effekt på både splittingen og retning av tensjonsbrudd. For å utnytte spenningsforholdene må borhulldesignet konstant forandres for å bedre retninger på de frie flatene, og da kreves det nøyaktig forståelse av spenningsforholdene til enhver tid. Prosjektet varierer plassering av kutten fordi de vil unngå gamle hull. Borhullmønstrene blir litt forandret etter geologien, men ikke mye.

Det er også foreslått å standardisere ulike borhullskonfigurasjoner etter ulike bergmassekvaliteter bestemt av Q-verdien. Og for å få et empirisk grunnlag for dette, er det foreslått flere vurderinger av D&S resultater i forskjellige bergartstyper og in-situ spenningsforhold. Follobaneprosjektet kunne være et pilotprosjekt for dette, som prosjekter kunne dra nytte av i ettertid. Dette har etter forfatters viten ikke blitt tatt til følge.

De numeriske analysene har generelt hatt en del svakheter og begrensninger slik at de kanskje var lite meningsfulle. Det har likevel kommet fram en del gode poenger gjennom de numeriske analysene, som at orientering av fri flate, og bergartskvalitet har mye å se. Dette stemmer med virkeligheten der man har erfart at slepper i gunstig orientering, noe som representerer frie flater, har gitt god inndrift. Inndriften har også vært avhengig av Q-verdien, ved at lavere Q-verdi gir bedre inndrift, noe som også indirekte var resultatet fra de numeriske analysene gjennom parameterne GSI, UCS og mi.

7.2 Sammenligning mellom forundersøkelser og egne undersøkelser

Med forundersøkelser menes de ingeniørgeologiske undersøkelsene gjort før oppstart av Follobaneprojektet (kap. 3.1). Det kan være interessant å se på hvordan ingeniørgeologiske parametere som bergartsstyrke og oppsprekking samsvarer mellom forundersøkelser og prøvetaking fra drivingen. Det vil selvfølgelig være en usikkerhet forbundet med avstand mellom kartleggingene, men bergartstypene er mer eller mindre de samme.

Labresultater fra forundersøkelser (Jernbaneverket, 2013) og egne undersøkelser er gjentatt i tabell 13. Her kan man se gneisen fra forundersøkelsene har både lavere enaksial trykkstyrke og punktlaststyrke enn de testene som er gjort på gneisene fra tunneldrivingen. Den breksjerte gneisen fra BH 830 viser en god del høyere enaksial trykkstyrke enn den breksjerte gneisen fra OF1879, men lavere punktlaststyrke.

Tabell 13 Utvalg av labresultater fra forundersøkelser og egne undersøkelser.

	Lokalitet	Bergartstype	UCS [Mpa]	PLT $I_{s(50)}$	Tetthet [cm ³]
Egne undersøkelser	IF1861	Granodiorittisk pegmatitt		3,4	
	IF1858	Granittisk gneis		7,9	
	IF1854	Diorittisk gneis	136,0	7,9	2,66
	OF1879	Breksjert gneis	107,4	7,3	2,69
Forundersøkelser	BH 830 (89-92 m)	Breksjert gneis	132,2	6,7	
	BH 841 (77.0-78.0 m)	Gneis	95,4	6,7	2,71

Det er også laget sprekkeroser både i forundersøkelsene (Figur 5), tidligere i tunneldrivingen (Figur 5) og som en del av de egne undersøkelsene (Figur 18). Det er ikke så mange likhetstrekk mellom forundersøkelsene og egne undersøkelser. Det kan se ut som om sprekkesettet som har Ø-V strøkretning har vridd seg ca. 20 grader mot klokken. I egne undersøkelser følger dette sprekkesettet foliasjonen, noe det ikke gjør i forundersøkelsene. Sammenligner man egne sprekkeroser med de fra tidligere i tunneldrivingen så er det likhetstrekk, spesielt IOL N som har det samme hovedsprekkesettet som begge kartleggingene fra IFL. Sprekkesett K2 i IOL N finnes ikke i IFL målingene. IØL S og Access S har helt andre hovedsprekkeretninger i forhold til egne sprekkeroser, men K2 sprekkesettet i IOL S ligner på K3 fra IFL 1854-1852. En merkbar forskjell er at forundersøkelsene er for IOL, men egne sprekkemålinger er for IFL og OFL. Det er altså ikke gitt at man kan forvente de samme sprekkeretningene som man ser i en forundersøkelse.

8 Konklusjon

Før oppstart av denne masteroppgaven var erfaringene slik som Bane NOR har oppsummert på en bra måte:

«Erfaringene fra Follobanen D&B så langt tilsier at boring og splitting er en tidkrevende og møysommelig prosess som har høye kostnader. Resultatet er en tunnel med fin kontur og lave vibrasjoner. Hvis fjellet er godt nok gir det mindre behov for sikring. Inndriften er i stor grad avhengig av kvaliteten på berget, graden av oppsprekking og retningen på sprekkeene. Berg med lave Q-verdier og høy grad av oppsprekking gir høyere inndrift enn berg med god kvalitet. Når sprekkeene har en gunstig orientering i forhold til tunnelretning øker inndriften betraktelig. Erfaringen til maskinføreren har også en del å si for hastigheten på splittingen. Hvis det har blitt opprettet en god flate å splitte mot øker også hastigheten. Kort oppsummert er boring og splitting en tidkrevende prosess, men som gir godt resultat.» (NFF, 2016c)

Det er ikke gjort noen store funn ut over dette, men denne masteroppgaven gjort følgende konklusjoner på grunnlag av egne undersøkelser:

- Det er vanskelig å se en direkte korrelasjon mellom inndrift og de ingeniørgeologiske parameterne funnet gjennom laborietesting. Det kan se ut som om inndriften er større ved høyere styrkeanisotropi. Det viser seg vanskelig å få oversikt over hvordan de ingeniørgeologiske parameterne er fra sted til sted, og hvordan inndriften er korrelert med dette. Sprekkeretningene varierer mye langs tunnelretningen som man ser fra sprekkerosene og de geologiske kartleggingene.
- Tendens til at økt mineralfyll øker inndriften
- Tendens til at høyere grad av oppsprekking øker inndriften.
- Erfaringer viser tendens til økt inndrift ved både ved høyere og lavere Q-verdi.
- Økt styrkeanisotropi kan gi økt inndrift.

Tunnelløpenes korrelasjon:

- IFL viser ingen korrelasjon mellom inndrift og sprekkeorienteringer.
- OFL viser lite til ingen korrelasjon mellom inndrift og sprekkeorienteringer. De høyeste inndriftene har ofte sprekkesett parallelt med tunnelretningen.

- IOL viser tendens til bedre inndrift med sprekkeseffekt normalt på tunnelretningen.
Korrelasjonene er at inndrift går opp når RQD/Jn går ned og at inndrift går opp når Jr/Ja går opp.

9 Referanseliste

- Aarhus, C. (2018, 02.05.2018). Brokk med split-suksess på Follobanen. *Byggeindustrien*. Retrieved from <http://www.bygg.no/article/1352455>
- Aga, F. (2018, 30.01.2018). Bane NOR har kastet ut Condotte fra Follobanen - tar over kontraktene med hud og hår. *Byggeindustrien*. Retrieved from <http://www.bygg.no/article/1342065>
- BaneNOR. (2018a). Follobanens presentasjonsbrosjyre.
- BaneNOR. (2018b). InterCity. Retrieved from <http://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/intercity/>
- Bjørlykke, K. (u.å). *Oslo-området geologi. En kort oversikt som vedlegg til film (DVD) fra områdene rundt indre Oslofjord*. Retrieved from
- Darda. (2018). Produktinformasjon for Rock splitter C20. Retrieved from <http://darda.no/produkter/c20-maskinmontert-fjellsplitter/>
- Fossen, H. (2008). *Geologi: stein, mineraler, fossiler og olje* (Vol. 4): Fagbokforlaget.
- ISRM. (1979). Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials. In: International Society for Rock Mechanics.
- ISRM. (1984). Suggested Method for Determining Point Load Strength. In.
- Jernbaneverket. (2013). *Østfoldbanen VL (Oslo S)-Ski Inngående Østfoldbane Tunnel, Substructure, Discipline Report Engineering Geology and Hydrogeology*. Retrieved from
- Jernbaneverket. (2014). *Østfoldbanen V L (Oslo S) - Ski, Oslo Innføring Oslo S, Forberedende arbeider F06, Ingeniørgeologisk rapport*. Retrieved from
- Jernbaneverket. (2016). *Follobanen D&B, Boring og splitting, et brukbart alternativ til forsiktig sprengning?* Presentation. Jernbaneverket.
- Lawton, M. F., Andersen, H., Sagen, H. E. W., & Jansen, B. (2017). *Drill and split, a feasible option to careful blasting?* Paper presented at the World Tunnel Congress, Bergen, Norway.
- Li, C. C. (2017). *TGB4210 Rock Mechanics*. Trondheim: NTNU.
- NFF, N. F. F. (2016a, 24.-25. november 2016). *Fjellsprengningsboken 2016, Boring og splitting, et brukbart alternativ til forsiktig sprengning?* Paper presented at the Fjellsprengningsdagen, Bergmekanikkdagen, Geoteknikkdagen, Oslo.
- NFF, N. F. F. (2016b, 24.-25. november 2016). *Fjellsprengningsboken 2016, Fire tunnelboremaskiner fra ett sentralt anleggsmråde*. Paper presented at the Fjellsprengningsdagen, Bergmekanikkdagen, Geoteknikkdagen, Oslo.
- NFF, N. F. F. (2016c, 24.-25. november 2016). *Fjellsprengningsboken 2016, Follobanen D&B, utfofordringer med driving i nærheten av eksisterende bergrom*. Paper presented at the Fjellsprengningsdagen, Bergmekanikkdagen, Geoteknikkdagen, Oslo.
- NGB, N. b., & NFF, N. f. f. (2000). *Engineering geology and rock engineering : handbook no. 2*. Oslo, Norway: Norwegian Group for Rock Mechanics (NBG).

- NGI. (2015). *Bruk av Q-systemet. Bergmasseklassifisering og bergforsterkning*. Oslo: Norges Geotekniske Institutt.
- Nilsen, B. (2016). *Ingeniørgeologi-Berg grunnkurskompendium*. Trondheim: NTNU.
- Nilsen, O. (2012). BERGGRUNNEN I ØSTMARKA – geologi til glede og besvær. Retrieved from <http://www.ostmarkasvenner.no/geologi.261678.no.html>
- NTNU. (2018). Bergmekanisk laboratorium. Retrieved from <https://www.ntnu.no/igp/lab/bergmekanisk>
- SVV, S. v. (2010). *Arbeider foran stoff og stabilitetssikring i vegtunneler*. Retrieved from Oslo: <https://www.vegvesen.no/attachment/155750/binary/269125>
- Vistnes, G. (2018, 02.02.2018). [Personlig kommunikasjon].
- Volden, J. A. (2015). *Ingeniørgeologisk vurdering av anvendbarheten for "Drill & Split" i tunneler på Follobanen*. (Master oppgave), NTNU, Trondheim.
- Åbø, A. H. (2018). *Splitting av tverrforbindelser, E-post korrespondanse*.

Vedlegg

Vedlegg A Klassifisering av bergmassekvalitet, Q-systemet

Vedlegg B Ukesrapport for uke 46, 2017 og uke 49, 2016

Vedlegg C Ingeniørgeologisk kart og grunnfjellprofiler, Follobanen

Vedlegg D Foto fra kartlegging

Vedlegg D-1 Bilde fra prøvelokalitet OF1879 med utvidet profil

Vedlegg D-2 Bilde fra prøvelokalitet IF1861

Vedlegg D-3 Bilde fra prøvelokalitet IF1858

Vedlegg D-4 Bilde fra strøk/fall målinger på stuff ved IFL 1856

Vedlegg D-5 Bilde fra prøvelokalitet IF1854

Vedlegg D-6 Bilde fra strøk/fall målinger på stuff ved IFL 1852

Vedlegg D-7 Bilde fra undersøkelse av oppsprekking OFL 1832

Vedlegg E Strøk og fall målinger fra feltundersøkelser

Vedlegg F Resultater fra punktlasttesting

Vedlegg F-1 Tabell med resultater fra PLT

Vedlegg F-2 OF1789 prøvebiter etter utført PLT

Vedlegg F-3 IF1861 prøvebiter etter utført PLT

Vedlegg F-4 IF1858 prøvebiter etter utført PLT

Vedlegg F-5 IF1854 prøvebiter etter utført PLT

Vedlegg G Resultater fra enaksial trykktesting

Vedlegg G-1 Tabell med resultater fra enaksial trykktesting

Vedlegg G-2 Bilder fra enaksial trykktest etter brudd IF1854

Vedlegg G-3 Bilder fra enaksial trykktest etter brudd OF1879

Vedlegg H Darda C20 Rock Splitter

Vedlegg I Borplan fra splitting utført av AF Gruppen på EPC-TBM

Vedlegg J Sammenstilling av inndrifter

Vedlegg J-1 Inndrift, bergmassekvalitet og tidsforbruk ved 85 m² tunnelprofil, IOL sør

Vedlegg J-2 Inndrift plottet mot ukenummer for søndre adkomsttunnel

Vedlegg K Plott for D&S tidsbruk og bergmasseegenskaper

Vedlegg K-1 Tidsbruk D&S per meter inndrift satt opp imot Q-verdi

Vedlegg K-1 Tidsbruk D&S per meter inndrift satt opp imot oppsprekkingsgrad

Vedlegg K-1 Tidsbruk D&S per meter inndrift satt opp imot sprekkefylling

Vedlegg L Redusert profil under Alna og E6, IFL 1912

Vedlegg M Stuff fra søndre adkomsttunnel

Vedlegg N Data fra kartleggingsrapportene

Vedlegg N-2 Tabell for kartlegging på IFL

Vedlegg N-3 Tabell for kartlegging på OFL

Vedlegg N-4 Tabell for kartlegging på IOL

Vedlegg N-5 Tabell for tunnelprogresjonsrapporter fra IOL

Vedlegg O Geologisk kartlegging fra IFL pel 1866-1854

Vedlegg A Klassifisering av bergmassekvalitet, Q-systemet

Vedlegg A-1 Parameterverdier for Q-systemet (SVV, 2010)

1 Oppsprekkingstall (Rock Quality Designation)	pr. m3	RQD
A Meget sterkt oppsprukket	>27	0-25
B Sterkt oppsprukket	20-27	25-50
C Moderat oppsprukket	13-19	50-75
D Lite oppsprukket	8-12	75-90
E Meget lite oppsprukket	0-7	90-100

Anm.: i) Når RQD er ≤ 10 (inkludert 0), blir verdien 10 brukt ved utregning av Q-verdi
ii) RQD-intervaller på 5, dvs. 100, 95, 90 osv er tilstrekkelig nøyaktig

2 Tall for sprekkesett	J _n
A Massivt, ingen eller få sprekker	0,5-1,0
B Ett sprekkesett	2
C Ett sprekkesett + sporadiske sprekker	3
D To sprekkesett	4
E To sprekkesett + sporadiske sprekker	6
F Tre sprekkesett	9
G Tre sprekkesett + sporadiske sprekker	12
H Fire eller flere sprekkesett, meget sterkt oppsprukket, sukkerbit-berg osv	15
E Oppknust berg, jordaktig	20

Anm.: i) Ved tunnelkryss brukes (3 x J_n)
ii) I portaler brukes (2 x J_n)

3 Sprekkeruhetstall	J _r
a) Bergkontakt, og b) bergkontakt før 10 cm skjærdeformasjon	
A Diskontinuerlig, hakkete (ru eller glatte)	4
B Ru, bølgete	3
C Glatte, bølgete	2
D Glidespeil, bølgete	1,5
E Ru, plane	1,5
F Glatte, plane	1
G Glidespeil, plane	0,5

Anm.: Første del av beskrivelsen (Ru, glatt etc.) gjelder ruhet/glatt
Andre del gjelder ujevnheter i størrelsesorden dm, m.

c) Ingen bergkontakt ved skjærdeformasjon	
H Sprekkefylling med leir, silt, sand, grus eller knust berg tykk nok til å hindre bergkontakt	1

Anm.: i) Når sprekkeavstanden i det aktuelle sprekkesettet er mer enn 3 m adderes 1 til ruhetstallet
ii) J_r=0,5 brukes for plane sprekker med glidespeil og lineasjon der lineasjon er orientert langs sannsynlig bevegelsesretning

4 Tall for sprekkefylling	Φ _r (ca)	J _a
a) Bergkontakt		
A Sammenvekste sprekker med harde mineraler som kvarts, feltspat, epidot		0,75
B Uomvandlede sprekkeflater, bare overflateoksidasjon	25-35°	1
C Svakt omvandlede sprekkeflater. Uoppbløtelig mineralbelegg, sandpartikler, oppknust berg, uten leir.	25-30°	2
D Siltig eller sandig sprekkebelegg, litt leir (ikke sveleleire)	20-25°	3
E Oppbløtelig leirbelegg med lav friksjon f.eks kaolinit eller glimmer. Også kloritt, talk, gips, grafitt o.a. Kun små mengder sveleleire.	8-16°	4

b) Bergkontakt før 10 cm skjærdeformasjon (tynn mineralfylling)		
F Sandige partikler, oppknust berg, ikke leir	25-30°	4
G Sterkt overkonsolidert (hardpakket), uoppbløtelig fylling av leirmateriale (kontinuerlig, tykkelse < 5 mm)	16-24°	6
H Middels eller litt overkonsolidert fylling av oppbløtelig leirmateriale (kontinuerlig, tykkelse < 5 mm)	12-16°	8
J Fylling av sveleleire (kontinuerlig, tykkelse < 5 mm). Ja-verdien avhenger av prosentvis innhold av sveleleire.	6-12°	8-12

c) Ingen bergkontakt ved skjærdeformasjon (tykk mineralfylling)		
K Soner og bånd av knust eller desintegrert berg og leir. Sterkt overkonsolidert (hardpakket) uoppbløtelig fylling.	16-24°	6
L Soner og bånd av knust eller desintegrert berg og leir. Middels til litt overkonsolidert uoppbløtelig fylling.	12-16°	8
M Soner og bånd av leir eller knust eller desintegrert berg. Ja-verdien avhenger av prosentvis innhold av sveleleire.	6-12°	8-12
N Tykke, kontinuerlige soner eller bånd med leir, silt eller sand. Sterkt overkonsolidert (hardpakket), uoppbløtelig.	16-24°	10
O Tykke, kontinuerlige soner eller bånd med leir. Middels til litt overkonsolidert, oppbløtelig.	12-16°	13
P Tykke, kontinuerlige soner eller bånd med leir. Ja-verdien avhenger av prosentvis innhold av sveleleire.	6-12°	13-20

5 Sprekkevannsfaktor	J _w
A Tørre bergrom, fukt eller spredte drypp	1
B Dryppregn, Stedvis utvasking av sprekkefylling.	0,66
C Stor innlekkasje eller høyt trykk i berg med sprekker uten fylling	0,5
D Stor innlekkasje eller høyt trykk. Utvasking av sprekkefylling.	0,33
E Meget stor innlekkasje eller vanntrykk ved utsprenning, avtagende med tiden.	0,2-0,1
F Meget stor innlekkasje eller vanntrykk. Ikke avtagende med tiden. Ofte utvasking av knust bergmasse	0,1-0,05

Anm.: i) Faktorene C til F er antatte. J_w-verdien økes når dreneringstiltak blir utført
ii) Spesielle stabilitetsproblemer ved isdannelse er ikke vurdert

6 Spenningsfaktor	SRF
a) Svakhetssoner som skjærer tunnelen og som kan medføre nedfall	
A Hyppig oppreden av svakhetssoner som inneholder leir eller kjemisk omvandlet berg. Avspent sideberg. Alle dybder.	10
B Hyppig oppreden av svakhetssoner i kompetente (stive) bergarter (uten leir). Avspent sideberg. Alle dybder.	7,5
C Enkle svakhetssoner med eller uten leir eller kjemisk omvandlet berg. Anleggets dybde ≤ 50 m.	5
D Ukonsoliderte, åpne sprekker, sterkt oppsprukket, sukkerbitberg. Alle dybder.	5
E Enkle svakhetssoner med eller uten leir eller kjemisk omvandlet berg. Anleggets dybde > 50 m.	2,5

Anm.: i) SRF-verdiene reduseres med 25-50% når svakhetssonene bare innvirker på stabiliteten, men ikke skjærer anlegget.

b) Harde, kompetente bergarter, bergtrykksproblemer			
	σ_1/σ_3	σ_2/σ_3	SRF
H Lave spenninger, åpne sprekker. Utfall av blokker pga. lav spenning. Vanligvis nær overflaten.	>200	<0,01	2,5
J Middels høye spenninger, gunstige spenningsforhold.	200-10	0,01-0,3	1
K Høye spenninger. Vanligvis gunstige stabilitetsforhold. Kan være ugunstig for veggstabilitet.	10-5	0,3-0,4	0,5-2
L Moderat avskalling etter mer enn 1 time i massivt berg.	5-3	0,5-0,65	5-50
M Avskalling og bergslag etter få minutter i massivt berg.	3-2	0,65-1	50-200
N Intenst bergslag og umiddelbart dynamisk deformasjonsbrudd i massivt berg.	<2	>1	200-400

Anm.: ii) I tilfeller med sterkt anisotrop, jomfruelig spenningsfelt (dersom målinger foreligger): når $5 \leq \sigma_1 / 10 \leq \sigma_3$, reduseres σ_2 til $0,75 \sigma_3$. Når $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, reduseres σ_2 til $0,5 \sigma_3$, hvor $\sigma_3 =$ enaksial trykkfasthet, σ_1 og σ_3 er henholdsvis største og minste hovedspenning og $\sigma_2 =$ maksimal tangentialspenning (antatt fra elastisitetsteorien).
iii) Når tunnelhengens dybde under fjelloverflaten er mindre enn spennvidden, økes SRF fra 2,5 til 5, untatt ved høye horisontalspenninger (se H)

c) Tyteberg: plastisk flytning av inkompetente bergarter under påvirkning av høye spenninger		
	σ_2/σ_3	SRF
O Moderat tyteberg	1-5	5-10
P Intens tyteberg	>5	10-20

Anm.: iv) Tilfeller av tyteberg kan forekomme for dybder H>350 Q^{1/3} (Singh et al., 1992). Bergmassenes trykkfasthet kan estimeres fra $scm \approx sc/100 \times 0,7 \times g \times Q^{1/3}$ (MPa) hvor g = bergartens egenvekt i kN/m³, og scm = bergmassens trykkfasthet.

d) Svellende berg: Kjemisk sveleaktivitet som avhenger av tilgangen på vann		
R Moderat svelling		5-10
S Intens svelling		10-15

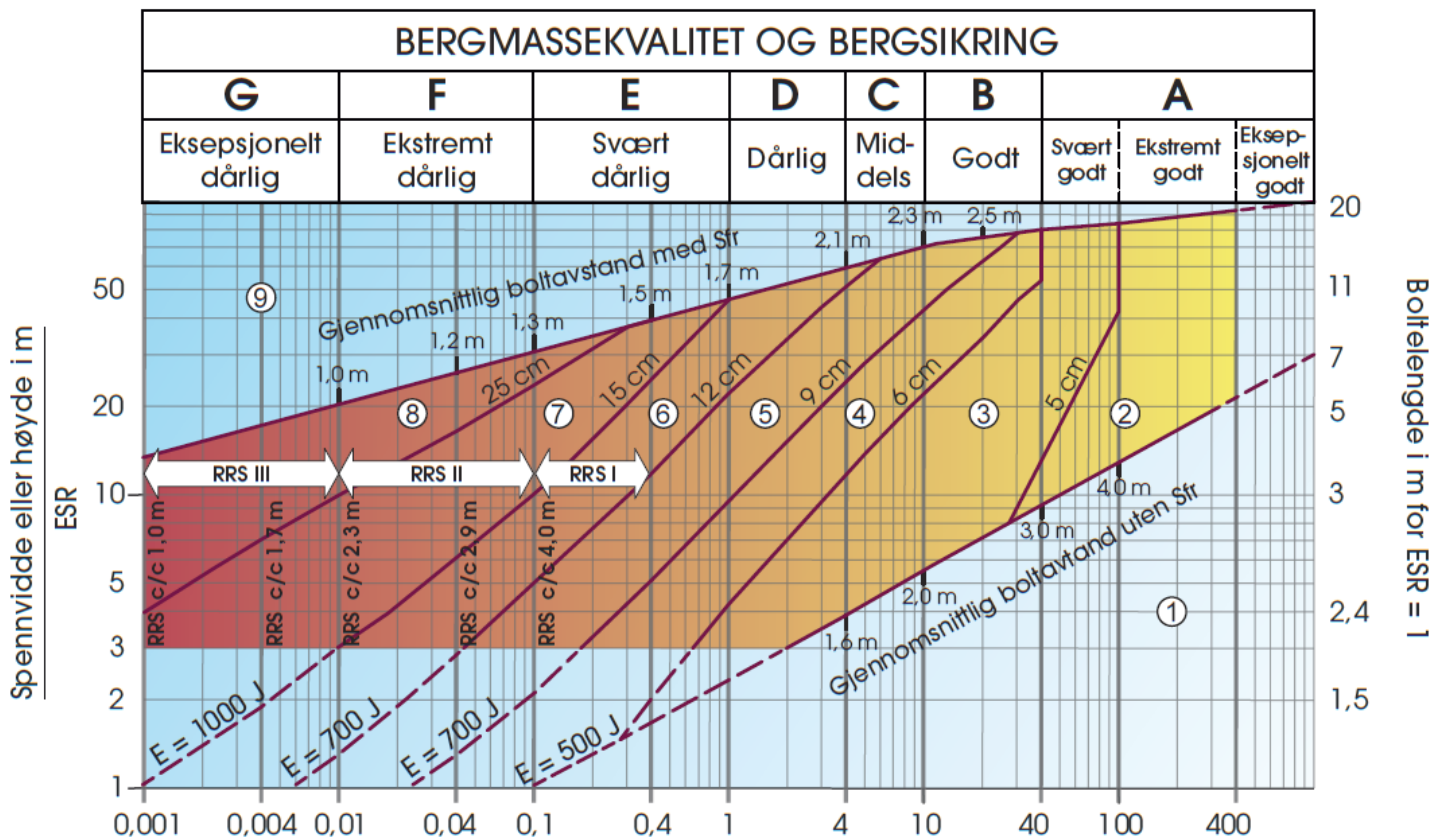
Anm.: For J_r og J_a brukes verdier fra det sprekkesettet som er mest ugunstig for stabiliteten både med hensyn til orientering og skjærstyrke, $\tau = \sigma_n \tan^2(J_r/J_a)$. Velg sprekkesett eller diskontinuitet hvor utglidning mest sannsynlig vil skje.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$



Statens vegvesen

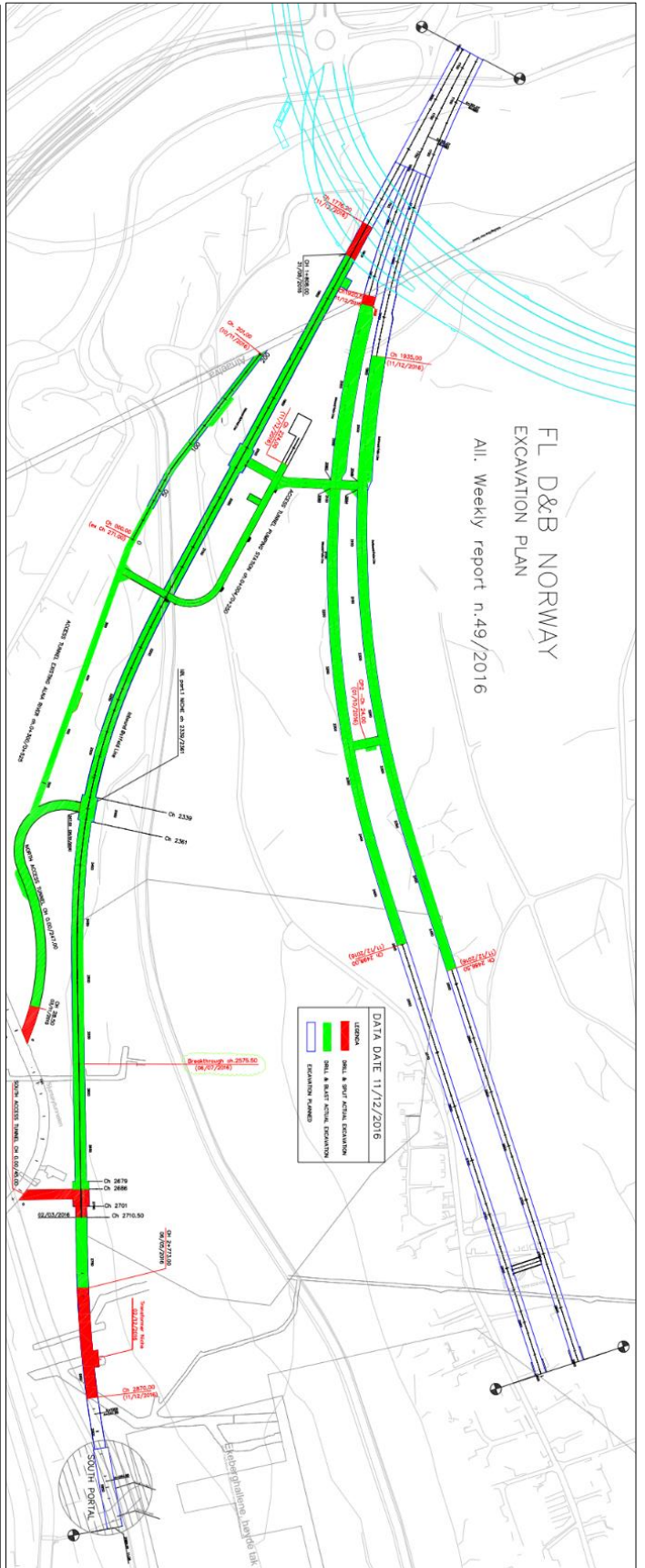
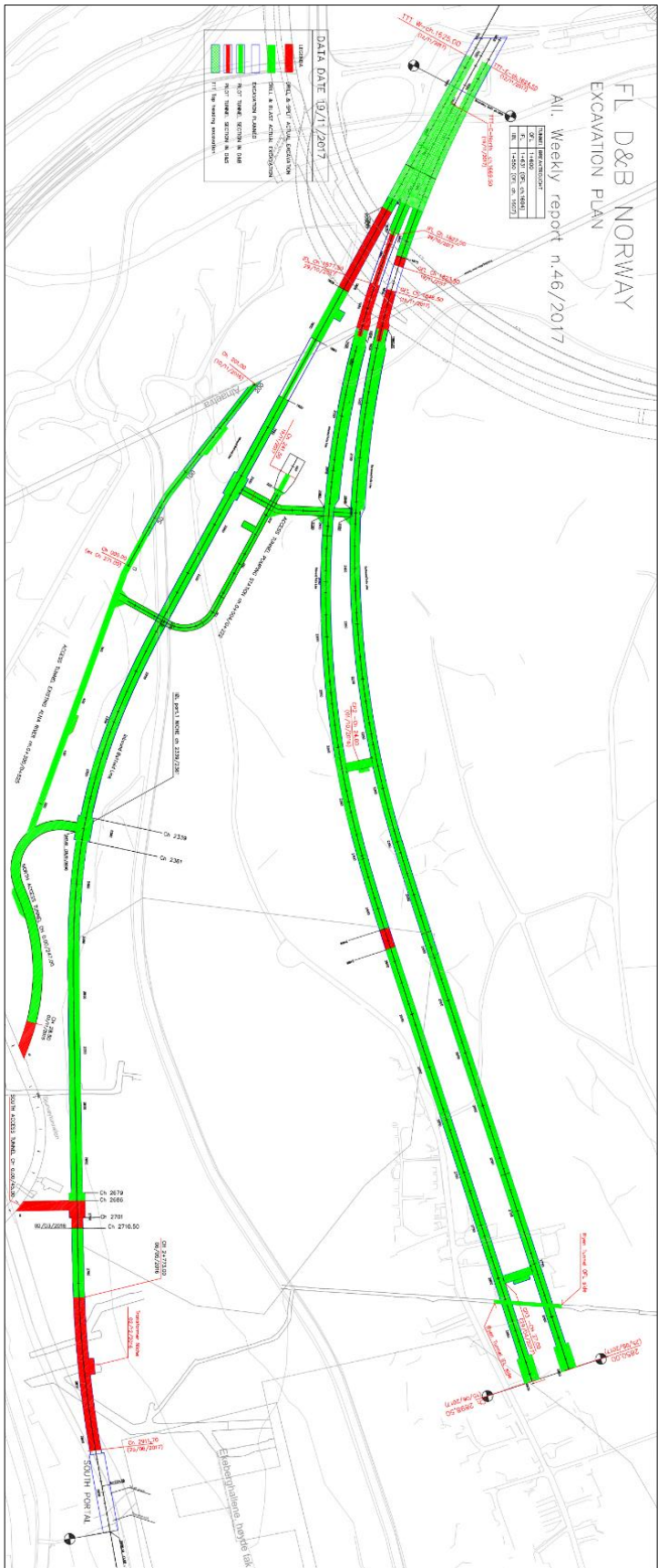
Vedlegg A-2 Bergmasseklassifisering og sikringsklasser etter Q-systemet (NGI, 2015)



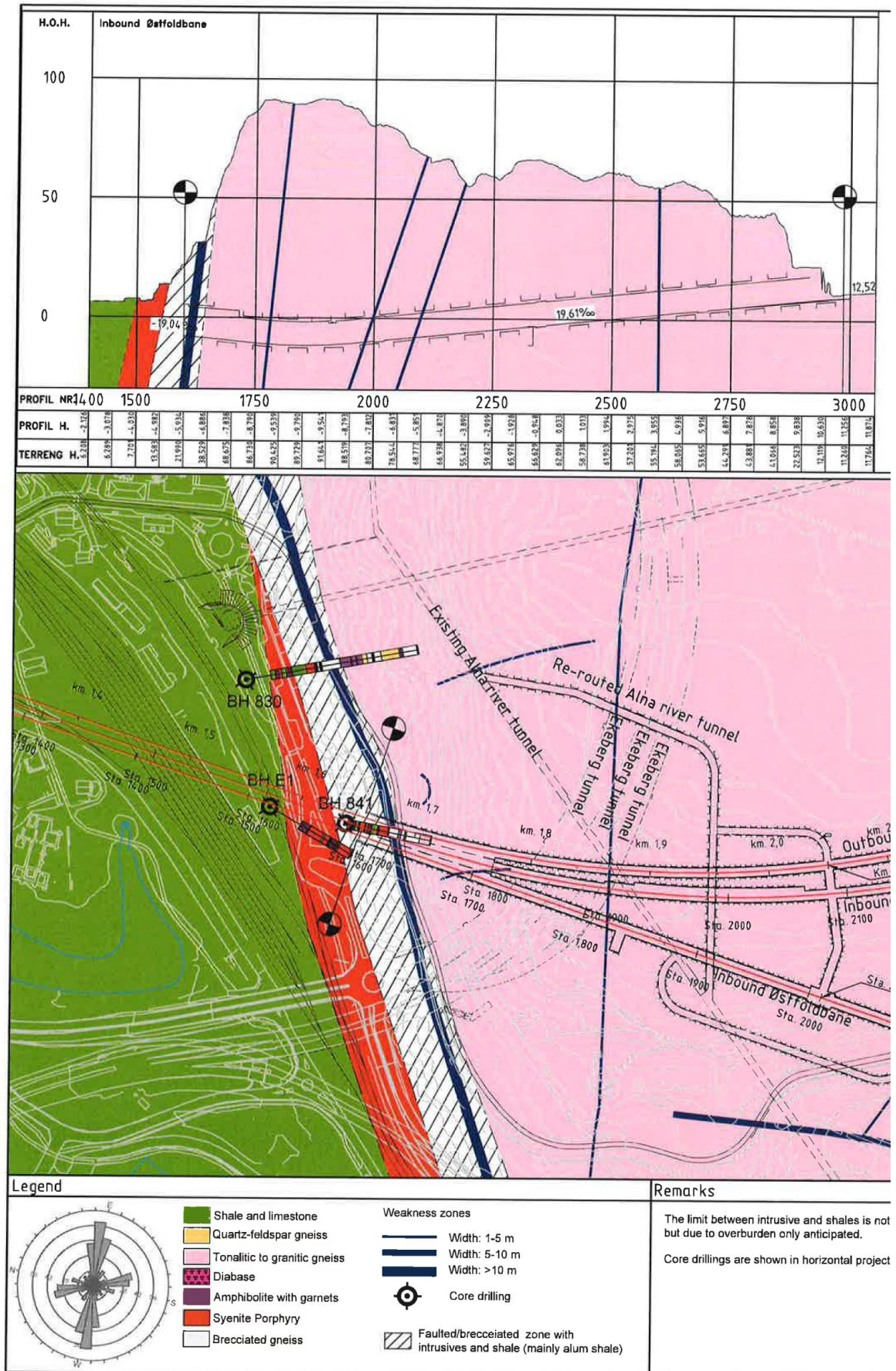
$$\text{Bergmasseklassifisering } Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Vedlegg B Ukesrapport for uke 46, 2017 og uke 49, 2016.

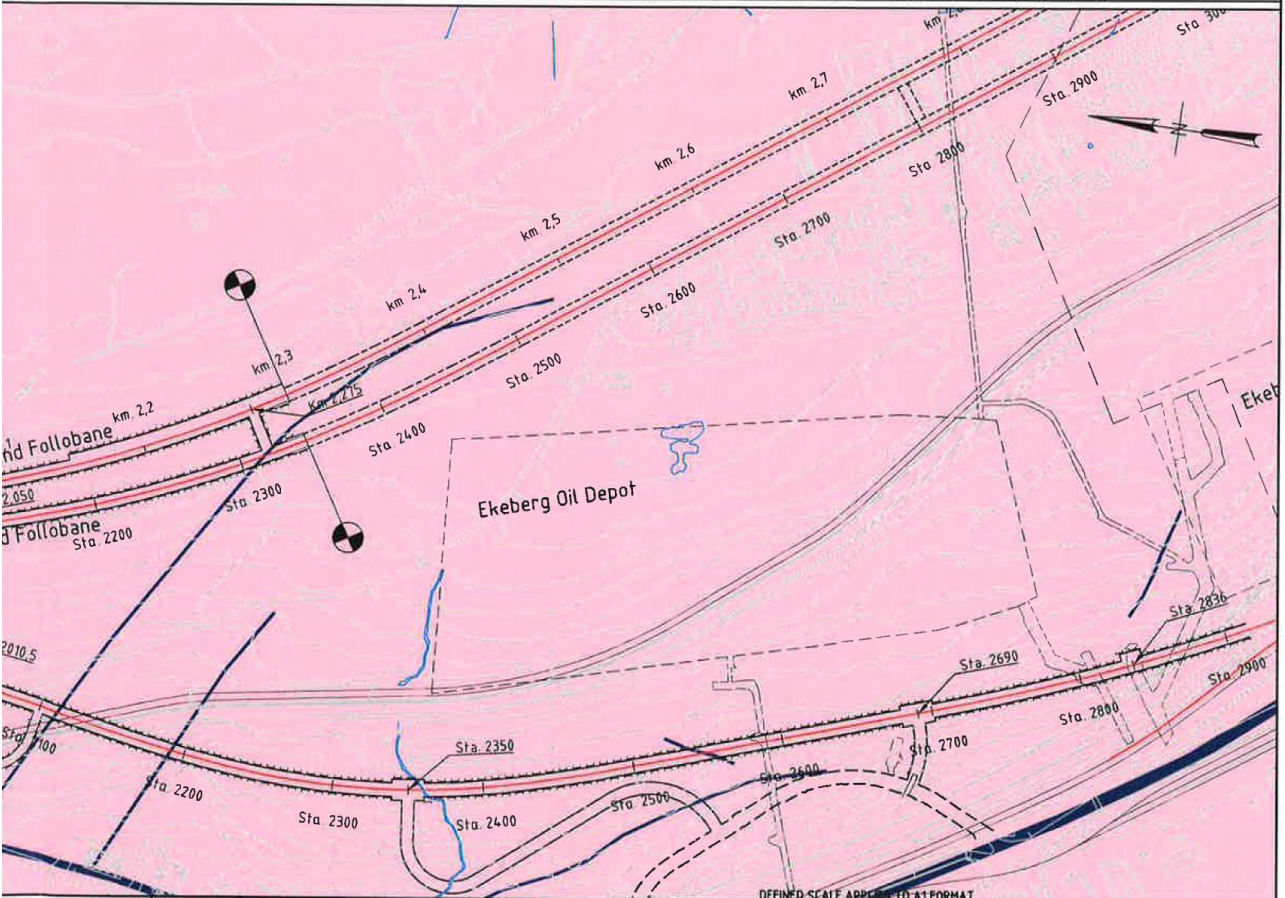
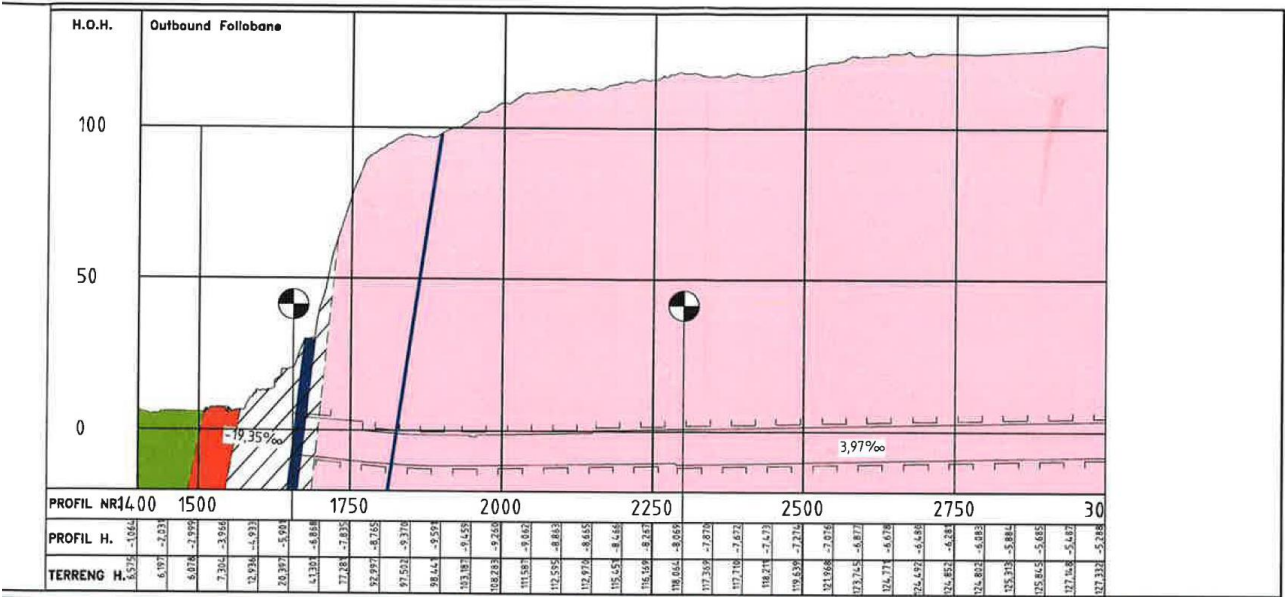
Rødt viser driving med D&S. Grønn viser driving med D&B (Condotte, 2017).



Vedlegg C Ingeniørgeologisk kart og grunnfjellprofiler, Follobanen (Jernbaneverket, 2014)



Legend		Remarks
	Shale and limestone	The limit between intrusive and shales is not but due to overburden only anticipated. Core drillings are shown in horizontal project
	Quartz-feldspar gneiss	
	Tonalitic to granitic gneiss	
	Diabase	
	Amphibolite with garnets	
	Syenite Porphyry	
	Brecciated gneiss	
	Weakness zones	
	Width: 1-5 m	
	Width: 5-10 m	
	Width: >10 m	
	Core drilling	
	Faulted/brecciated zone with intrusives and shale (mainly alum shale)	



located exactly,
ion.

References

Map source: Oslo kommune og Norge digitalt
System of coordinates: Euref 89/UTM sone 32 (hor.)
NN1954 (verf.)

Rev	Reason for issue	Date	Drig	Checked by	Approved by
01B	Reissued for tender	21.11.2013	AT	PeBa	LMA
00B	Issued for tender	16.09.2013	AT	PeBa	SHA

Østfoldbanen V L (Oslo S) - Ski
 IØB tunnel, Substructure
 Engineering geological map and profile
 Bedrock. Km 1.655-2.800 (OFB)
 and station 1548-2900 (IØB)

Project: NYTT DOBBELTSPOR OSLO - SKI
 Area : 30-Tunnel section
 Jernbaneverket

Scale	Phase	Tender phase
1:5000	Location	
1:2000	Project no.	10274 (AAJ)

Project: **AAS-JAKOBSEN**
 Prod drawing no: Lay_UOS-30-V-30100-04.dwg
 Requirement for:
 Required by:
 Drawing number: UOS-30-V-30100
 Operator's document number:
 Revision: 01B

Vedlegg D Foto fra kartlegging

Vedlegg D-1 Bilde fra prøvelokalitet OF1879 med utvidet profil (T.K.W).



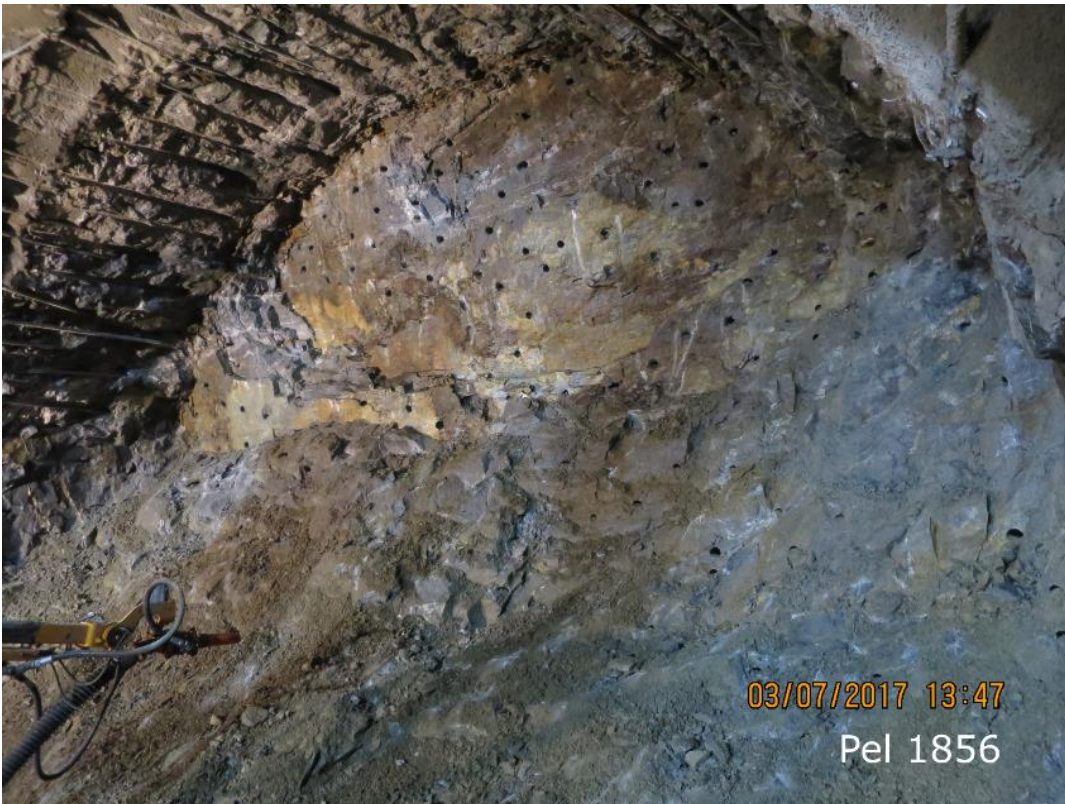
Vedlegg D-2 Bilde fra prøvelokalitet IF1861 (Condotte)



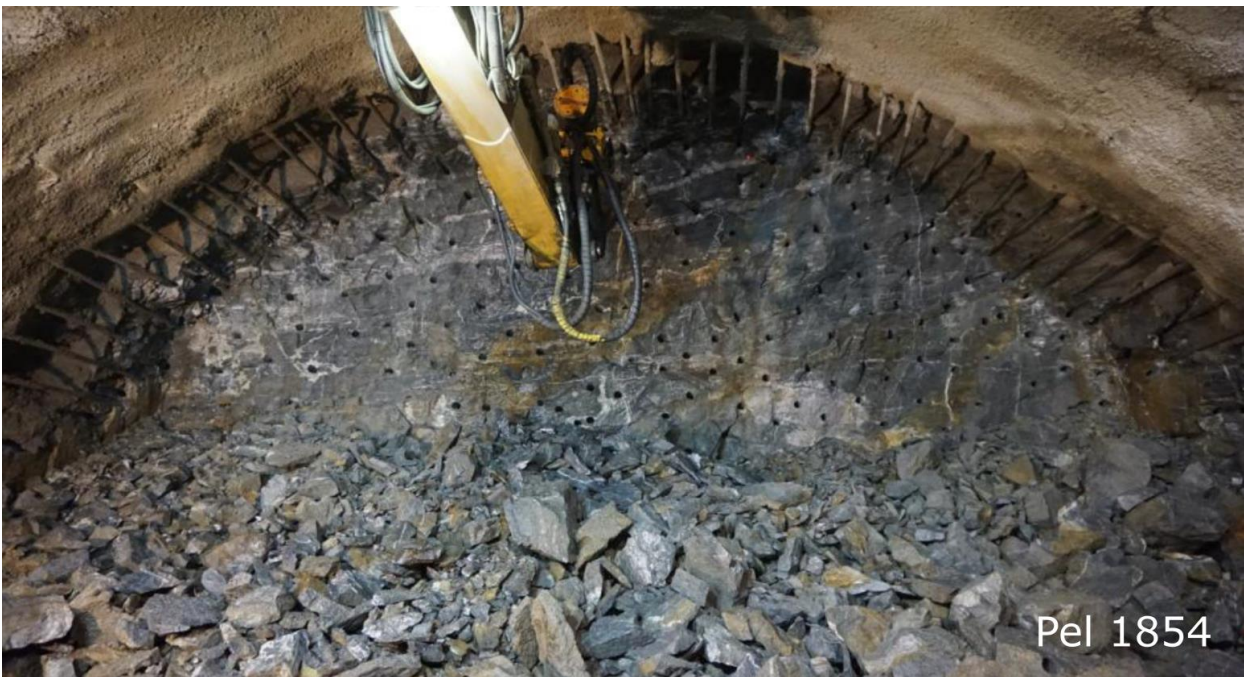
Vedlegg D-3 Bilde fra prøvelokalitet IF1858 (T.K.W)



Vedlegg D-4 Bilde fra strøk/fall målinger på stuff ved IFL 1856 (T.K.W)



Vedlegg D-5 Bilde fra prøvelokalitet IF1854 (Condotte)



Vedlegg D-6 Bilde fra strøk/fall målinger på stoff ved IFL 1852 (Bane NOR)



Vedlegg D-7 Bilde fra undersøkelse av oppsprekking OFL 1832 (T.K.W)



Vedlegg E Strøk og fall målinger fra feltundersøkelser.

Sektor	IFL 1856		IFL 1852	
	Strøk	Fall	Strøk	Fall
0-15	4	75Ø	8	70NV
	6	90Ø	5	83SØ leire
	8	90Ø	12	48Ø
15-30			20	70NV
			15	50SØ
			20	88SØ
			25	78NV
30-45			30	88NV
			40	80SØ
			32	60SØ
			38	52NV
45-60	58	78N		
	52	76N		
	54	70N		
60-75	65	72N	73	69N
	60	65N	69	92S
			73	65N
			70	67N
			62	70N
		60	50NV	
75-90	78	77N	85	73N
	84	50N	82	70N
	78	80N		
90-105	100	39S		
	92	45S		
105-120	114	50S	118	56SV
120-135				
135-150			135	52S
			140	35SV
150-165				
165-180			179	83

Vedlegg F Resultater fra punktlasttesting

Vedlegg F-1 Tabell med resultater fra PLT

Diametral test													
Prøve	Klipp nr.	Diametral/aksial Type	Diameter D (mm)	Bredde W (mm)	Last P (kN)	Distanse D (mm)	e=ekvivalent De^2 (mm ²)	Samme som D ved diametral test De (mm)	Punktlast-index (F/De^2) Is	Korrigeringsfaktor (empirisk tilnærming) F	Punktlast-indeks Is (50)	Dato	Merknad
OF1879	1	d	32		6,32	32		32	6,2	0,80	4,9	17.jan	Produserte for lang bit til aksial test.
	2	d	32		7,5	32		32	7,3	0,80	5,9		
	3	d	32		8,58	32		32	8,4	0,80	6,7		
	4	d	32		12,3	32		32	12,0	0,80	9,6	07.feb	For raskt presset. Bruker likevel.
	5	d	32		7,78	32		32	7,6	0,80	6,1		
	6	d	30,31		8,63	30,31		30,31	9,4	0,78	7,3		
	7	d	32		7,57	32		32	7,4	0,80	5,9		Brøt mot enden
	8	d	32		9,77	32		32	9,5	0,80	7,6		
	9	d	28,7		10,64	28,7		28,7	12,9	0,76	9,8		
	10	d	32		7,21	32		32	7,0	0,80	5,6		
	11	d	30,19		15,2	30,19		30,19	16,7	0,78	13,0	08.feb	for høy?
IF1858	1	d//	32		13,67	32		32	13,3	0,80	10,7		Direkte på kvartslag
	2	d//	32		4,17	32		32	4,1	0,80	3,3		Splittet hele kjernen. Fortsatt gyldig.
	3	d//	32		11,33	32		32	11,1	0,80	8,9		
	4	d//	32		9,46	32		32	9,2	0,80	7,4		
	5	d//	32		10,24	32		32	10,0	0,80	8,0		
	6	d//	32		4,41	32		32	4,3	0,80	3,4		I grensa til kvartslag
	7	d//	32		11,09	32		32	10,8	0,80	8,7		
	8	d//	32		10,28	32		32	10,0	0,80	8,0		
	9	d//	32		7,34	32		32	7,2	0,80	5,7		
	10	d//	32		4,04	32		32	3,9	0,80	3,2		Litt for raskt presset
	11	d//	32		3,92	32		32	3,8	0,80	3,1		ca. (reset peak value)
12	d//	32		13,37	32		32	13,1	0,80	10,4		Kvarts. Litt annen retning enn ellers foliasjon	
IF18561	1	d	32		4,71	32		32	4,6	0,80	3,7	04.apr	d// prøver og få det parallellt med svakhet. Litt kaotisk.
	2	d	32		9,2	32		32	9,0	0,80	7,2		
	3	d	32		5,38	32		32	5,3	0,80	4,2		14 mm til fri flate
	4	d	32		6,32	32		32	6,2	0,80	4,9		
	5	d	32		5,48	32		32	5,4	0,80	4,3		prøve prallellt, men ingen lagdeling...
	6	d	32		5,31	32		32	5,2	0,80	4,1		
	7	d	32		4,04	32		32	3,9	0,80	3,2		
	8	d	32		4,61	32		32	4,5	0,80	3,6		En del glimmer i bruddet
	9	d//	32		3,11	32		32	3,0	0,80	2,4		Brudd langs glimmerlag

	10	d//	32		5,85	32		32	5,7	0,80	4,6		
	11	d//	32		3,59	32		32	3,5	0,80	2,8		
	12	d//	32		3,3	32		32	3,2	0,80	2,6		
	13	d//	32		4,73	32		32	4,6	0,80	3,7		
IF1854	1	d//	32		4,23	32		32	4,1	0,80	3,3		
	2	d//	32		9,02	32		32	8,8	0,80	7,0		Ganske bra
	3	d//	32		6,63	32		32	6,5	0,80	5,2		Veldig bra
	4	d//	32		6,97	32		32	6,8	0,80	5,4		Fin, men 2 mm nærme kanten (veldig smal bit). Var ikke borti kanten i bruddet
	5	d//	32		8,73	32		32	8,5	0,80	6,8		Veldig bra
	6	d//	32		5,72	32		32	5,6	0,80	4,5		Veldig bra
	7	d//	32		5,13	32		32	5,0	0,80	4,0		Perfekt
#6	8	d//	32		8,27	32		32	8,1	0,80	6,5		Veldig bra
	9	d//	32		6,21	32		32	6,1	0,80	4,9		Veldig bra
	10	d//	32		8,58	32		32	8,4	0,80	6,7		Veldig bra
	11	d//	32		6,08	32		32	5,9	0,80	4,8		Bra
#7	12	d//	32		6,03	32		32	5,9	0,80	4,7	05.apr	Perfekt
	13	d//	32		5,22	32		32	5,1	0,80	4,1		Perfekt

Aksial test

OF1879	1	a	32	32	10,4	29,1	1185,64	34,43	8,8	0,83	7,3	17. jan	
	2	a	32	32	7,12	24,3	990,07	31,47	7,2	0,79	5,7		
	3	a	32	32	9,15	16,51	672,68	25,94	13,6	0,72	9,8	07. feb	
	4	a	32	32	8,31	23,31	949,73	30,82	8,7	0,79	6,9		
	5	a	32	32	11,35	27,37	1115,15	33,39	10,2	0,82	8,3		
	6	a	32	32	5,16	17,6	717,09	26,78	7,2	0,73	5,3		
	7	a	32	32	10,76	25,83	1052,41	32,44	10,2	0,81	8,2		
	8	a	32	32	9,4	26,48	1078,89	32,85	8,7	0,81	7,1		
	9	a	32	32	10,08	23,47	956,25	30,92	10,5	0,79	8,3		
IF1858	1	aL	32	32	11,29	23,21	945,66	30,75	11,9	0,78	9,4		Bilde
	2	aL	32	32	10,01	22,68	924,07	30,40	10,8	0,78	8,4		
	3	aL	32	32	9,25	27,7	1128,60	33,59	8,2	0,82	6,7		
	4	aL	32	32	11,46	31,34	1276,91	35,73	9,0	0,85	7,6		
	5	aL	32	32	13,3	26,54	1081,34	32,88	12,3	0,81	10,0		
	6	aL	32	32	12,67	19,97	813,65	28,52	15,6	0,76	11,8		Kvartlag i midten
	7	aL	32	32	13,73	21,64	881,69	29,69	15,6	0,77	12,0		
	8	aL	32	32	9,1	29,58	1205,20	34,72	7,6	0,83	6,3		
	9	a	32	32	14,05	28,71	1169,75	34,20	12,0	0,83	9,9		
	10	a	32	32	11,59	19,98	814,06	28,53	14,2	0,76	10,8		
	11	a	32	32	9,38	22,41	913,07	30,22	10,3	0,78	8,0		
IF1861	1	aL	32	32	1,42	21,36	870,28	29,50	1,6	0,77	1,3	04.apr	
	2	aL	32	32	2,23	22,71	925,29	30,42	2,4	0,78	1,9		
	3	a	32	32	6,27	18,64	759,46	27,56	8,3	0,74	6,1		
	4	a	32	32	4,05	19,38	789,61	28,10	5,1	0,75	3,8		
	5	a	32	32	2,52	26,63	1085,00	32,94	2,3	0,81	1,9		Sprakk skrått langs sprekker/lagdelling
	6	a	32	32	3,14	23,35	951,36	30,84	3,3	0,79	2,6		

	7	a	32	32	4,13	23,76	968,07	31,11	4,3	0,79	3,4		
	8	a	32	32	1,63	15,65	637,64	25,25	2,6	0,71	1,8		
	9	a	32	32	3,81	19,38	789,61	28,10	4,8	0,75	3,6		
	10	a	32	32	7,75	25,28	1030,00	32,09	7,5	0,80	6,0		(Glimmerbruddet)
	11	a	32	32	4,5	21,37	870,69	29,51	5,2	0,77	4,0		Merke fra bor i enden
IF1854	1	aL	32	32	11,07	22,7	924,88	30,41	12,0	0,78	9,3		Veldig bra
	2	aL	32	32	13,11	22,87	931,81	30,53	14,1	0,78	11,0		Veldig bra
	3	aL	32	32	11,45	19,8	806,72	28,40	14,2	0,75	10,7		Veldig bra
	4	aL	32	32	13,5	22,02	897,18	29,95	15,0	0,77	11,6		Veldig bra
	5	aL	32	32	11,48	22,06	898,81	29,98	12,8	0,77	9,9		Bra
#6	6	aL	32	32	12,56	19,53	795,72	28,21	15,8	0,75	11,9		Veldig bra
	7	aL	32	32	12,15	21,77	886,99	29,78	13,7	0,77	10,6		Veldig bra
	8	aL	32	32	10,73	21,84	889,84	29,83	12,1	0,77	9,3		Ok
	9	aL	32	32	12,53	23,66	964,00	31,05	13,0	0,79	10,2		Veldig bra
	10	aL	32	32	13,64	22,13	901,66	30,03	15,1	0,77	11,7		Veldig bra
#7	11	aL	32	32	11,12	25,5	1038,96	32,23	10,7	0,80	8,6	05.apr	Perfekt
	12	aL	32	32	11,83	19,42	791,24	28,13	15,0	0,75	11,2		Perfekt

Vedlegg F-2 OF1789 prøvebiter etter utført PLT



Vedlegg F-3 IF1861 prøvebiter etter utført PLT



Vedlegg F-4 IF1858 prøvbitar etter utført PLT



Vedlegg F-5 IF1854 prøvbitar etter utført PLT



Vedlegg G Resultater fra enaksial trykktesting

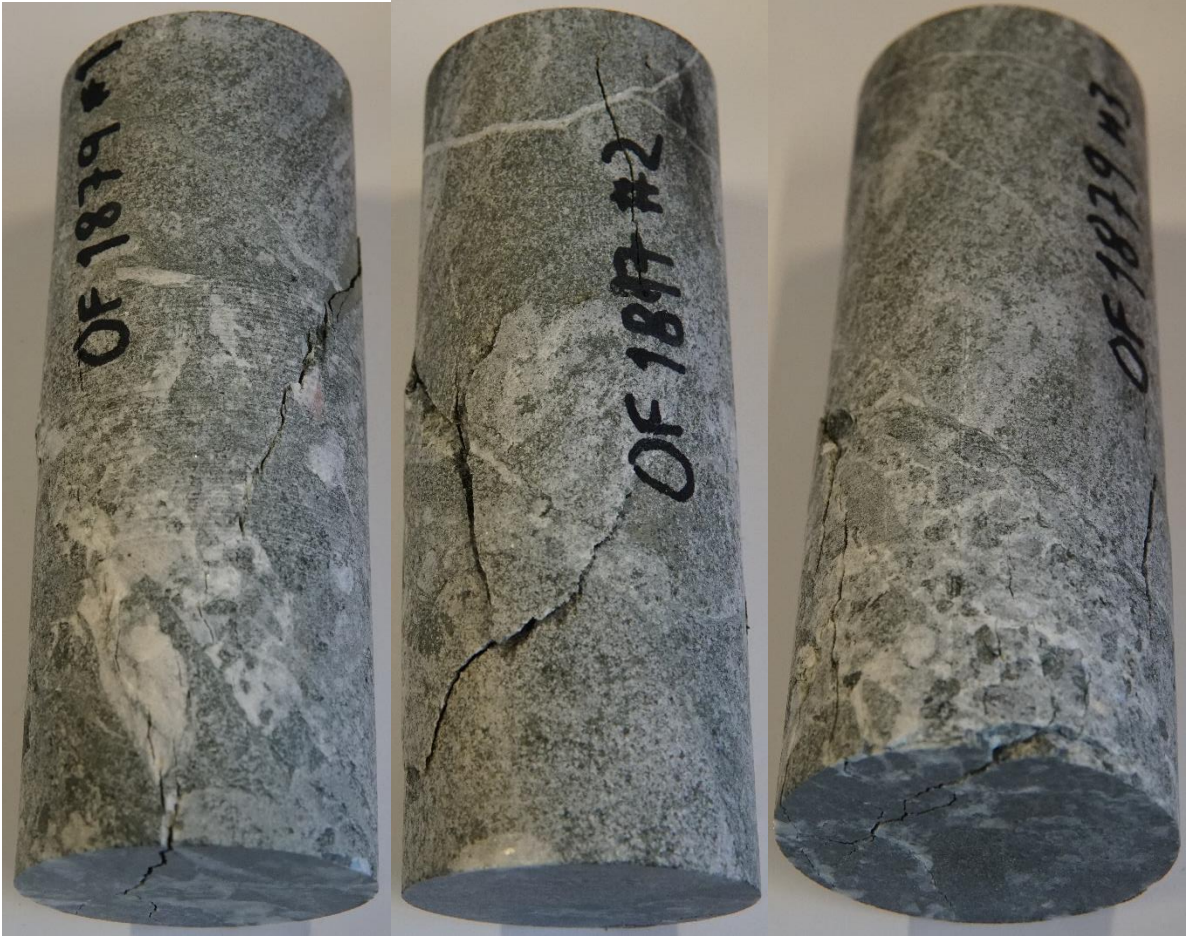
Vedlegg G-1 Tabell med resultater fra enaksial trykktesting

Prøve	OFL 1879 #1	OFL 1879 #2	OFL 1879 #3	IFL 1854 #1	IFL 1854 #2	IFL 1854 #3	
Lengde [cm]	13,490	13,545	13,532	13,204	13,555	13,537	
Diameter [cm]*	5,020	5,020	5,021	5,020	5,019	5,019	
Vinkel mellom aksialretning og foliasjon	Utydelig	Utydelig	Utydelig	70°	70°	70°	
Vekt [g]	718,67	718,38	720,93	694,15	711,26	712,29	
Volum [cm ³]	266,96	268,12	267,97	261,29	268,21	267,79	
Tetthet [g/cm ³]	2,69	2,68	2,69	2,66	2,65	2,66	
Vanninnhold	Tørr	Tørr	Tørr	Tørr	Tørr	Tørr	
UCS [MPa]	92,90	107,50	121,80	151,70	149,90	106,50	
E-modul (GPa)	50,33	52,57	50,86	57,22	59,84	54,70	
Poissons Ratio	0,37	0,38	0,29	0,29	0,28	0,23	
Gjennomsnitt UCS			107,40			136,03	
Gjennomsnitt Tetthet			2,69			2,66	
L/D	2,69	2,70	2,69	2,63	2,70	2,70	
Dato	01.02.18	01.02.18	01.02.18	01.02.18	02.02.18	02.02.18	
*Diameter [mm]	Oppe	50,21	50,24	50,20	50,20	50,17	50,18
		50,21	50,15	50,18	50,16	50,20	50,18
	midten	50,19	50,23	50,22	50,19	50,21	50,19
		50,20	50,21	50,22	50,19	50,21	50,18
	Nede	50,18	50,21	50,23	50,20	50,18	50,18
		50,19	50,18	50,23	50,23	50,19	50,21
	Gjennomsnitt Diameter	50,20	50,20	50,21	50,20	50,19	50,19

Vedlegg G-2 Bilder fra enaksial trykktest etter brudd IF1854



G-3 Bilder fra enaksial tryktest etter brudd OF1879





ROCK SPLITTER

C20

- Adjustable splitting direction
- Automatic lubrication of the sliding surfaces

Specifications C20	vertical		horizontal	
Dimensions	C20 C	C20 V	C20 H	C20 J
Total length ^{1, 2}	1628 mm	1833 mm	1790 mm	2110 mm
	64 inches	72 inches	70 inches	83 inches
Total width	304 mm	500 mm	382 mm	400 mm
	12 inches	20 inches	15 inches	16 inches
Total height	462 mm	558 mm	765 mm	410 mm
	18 inches	22 inches	30 inches	16 inches
Weight				
Total weight ²	285 kg	390 kg	395 kg	375 kg
	630 lbs	860 lbs	870 lbs	830 lbs
Recommended device carrier weight	5 - 7 t		11020 - 15430 lbs	
Wedge set				
Length wedge set N / L	500 / 700 mm		20 / 28 inches	
Drill hole diameter	76 mm		3 inches	
Drill hole depth N / L, min.	750 / 950 mm		30 / 38 inches	
Splitting force theoretical N / L	1500 / 1800 t		14.7 MN / 17.7 MN	
Hydraulic connection				
Connection pressure, min.	175 bar		2500 psi	
Connection pressure, max.	270 bar		3900 psi	
Operating pressure	500 bar		7300 psi	
Oil flow, max.	100 l/min		22.7 US gal/min	
Operating material				
Darda Special Lubricant				



C20 C

C20 V



C20 J

C20 H

¹ Value with retracted wedge, without mounting plate ² Value without mounting plate with wedge set N
Mounting plates for different carriers on request.

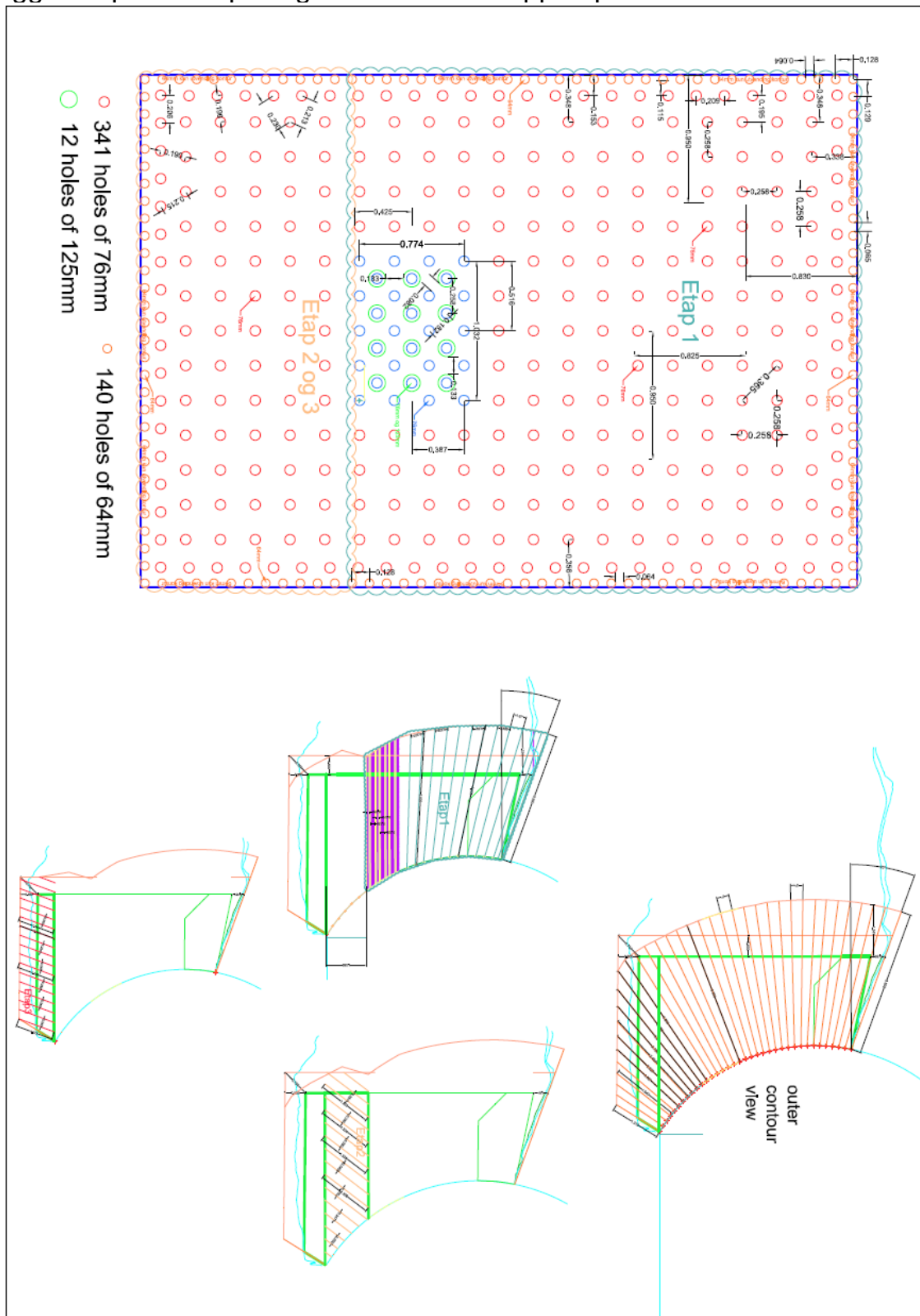


We've got the power.

Darda GmbH
Im Tal 1, D-78176 Blumberg
Fon + 49 (0) 77 02 / 43 91 - 0
Fax + 49 (0) 77 02 / 43 91 - 12
info@darda.de
www.darda.de

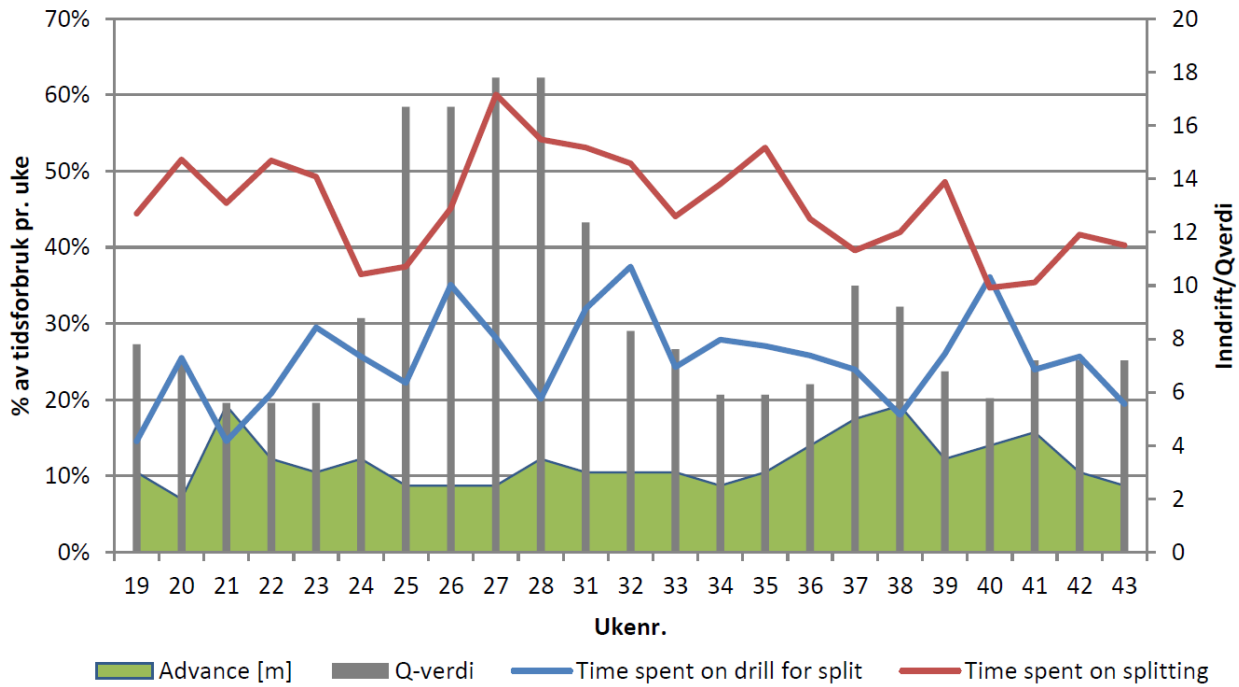
Our distributor:

Vedlegg I Borplan fra splitting utført av AF Gruppen på EPC-TBM

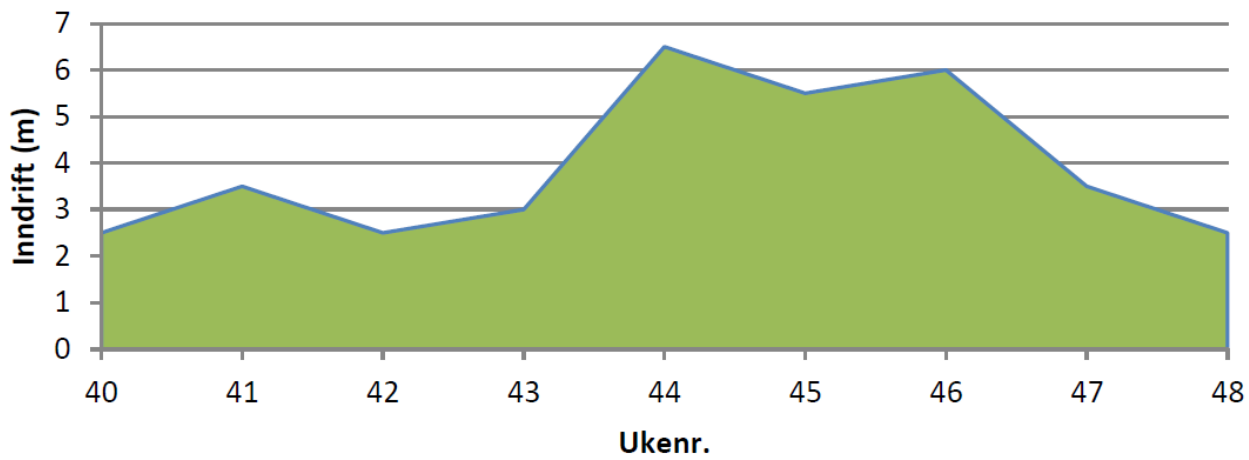


Vedlegg J Sammenstillinger av inndrifter (NFF, 2016)

Vedlegg J-1 Inndrift, begmassekvalitet og tidsforbruk ved 85 m² tunnelprofil, IOL sør

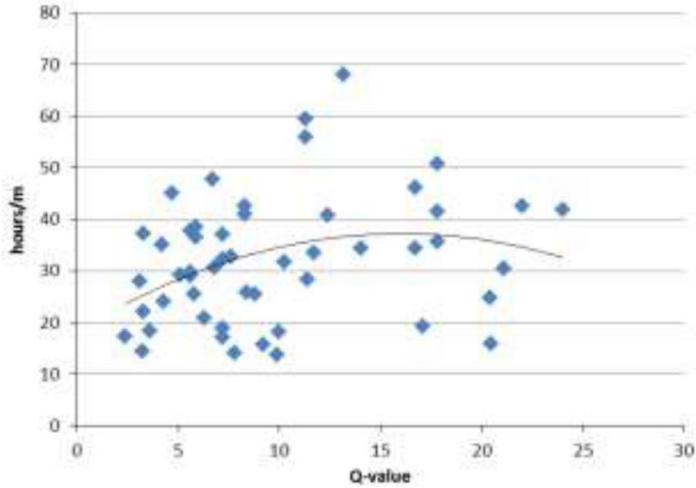


Vedlegg J-2 Inndrift plottet mot ukenummer for søndre adkomsttunnel

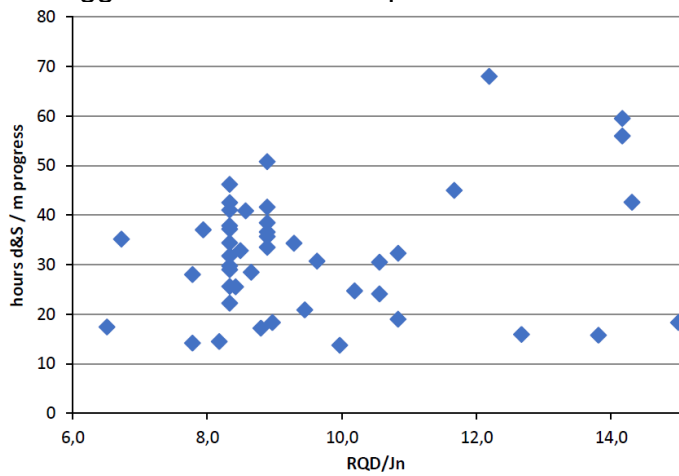


Vedlegg K Plott for D&S tidsbruk og bergmasseegenskaper (Lawton, Andersen, Sagen, & Jansen, 2017)

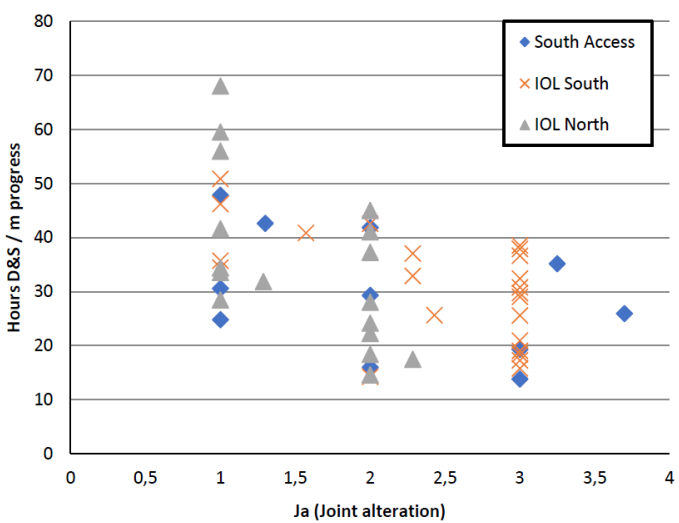
Vedlegg K-1 Tidsbruk D&S per meter inndrift satt opp imot Q-verdi



Vedlegg K-1 Tidsbruk D&S per meter inndrift satt opp imot oppsprekingsgrad



Vedlegg K-1 Tidsbruk D&S per meter inndrift satt opp imot sprekkefylling



Vedlegg L Redusert profil under Alna og E6, IFL 1912 (Condotte)



Vedlegg M Stuff fra søndre adkomsttunnel (NFF, 2016)



Vedlegg N Data fra kartleggingsrapportene

Vedlegg N-1 Tabell for kartlegging på IFL

Tabellens bredde fortsetter på de neste tre sidene.

Profil	Metode	Dato	Dager	Pelnummer	Inndrift	[m/dag]	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Q'
				1928										
Pilot	D&B	03.12.2016	1	1924	4	4,0	85	9	2	1	1	1	18,9	18,9
Pilot	D&S	06.12.2016	2	1922,5	1,5	0,8	90	9	2	1	1	1	20,0	20,0
Pilot	D&S	16.12.2016	8	1918	4,5	0,6	90	9	2	1	1	1	20,0	20,0
Pilot	D&S	16.01.2017	11	1914	4	0,4	80	9	2	1	1	1	17,8	17,8
Pilot	D&S	06.02.2017	19	1906	8	0,4	90	9	2	1	1	1	20,0	20,0
Pilot	D&S	14.02.2017	7	1902,5	3,5	0,5	90	9	2	1	1	1	20,0	20,0
Pilot	D&S	22.02.2017	7	1898	4,5	0,6	80	9	2	1	1	1	17,8	17,8
Pilot	D&S	28.02.2017	5	1896	2	0,4	85	9	2	1	1	2,5	7,6	18,9
Pilot	D&S	10.03.2017	9	1893,5	2,5	0,3	85	9	2	1	1	2,5	7,6	18,9
Pilot	D&S	16.03.2017	5	1890	3,5	0,7	80	9	2	1	1	2,5	7,1	17,8
Pilot	D&S	24.03.2017	7	1887,5	2,5	0,4	80	9	2	1	1	2,5	7,1	17,8
Pilot	D&S	31.03.2017	7	1884	3,5	0,5	80	9	2	2	1	2,5	3,6	8,9
Pilot	D&S	05.04.2017	4	1882,5	1,5	0,4	80	9	2	1	1	2,5	7,1	17,8
Pilot	D&S	18.04.2017	8	1880	2,5	0,3	75	9	2	1	1	2,5	6,7	16,7
Pilot	D&S	22.04.2017	4	1878	2	0,5	85	9	2	1	1	2,5	7,6	18,9
Pilot	D&S	05.05.2017	10	1876	2	0,2	85	9	2	1	1	2,5	7,6	18,9
Pilot	D&S	11.05.2017	5	1873,5	2,5	0,5	85	9	2	1	1	2,5	7,6	18,9
Pilot	D&S	18.05.2017	5	1872	1,5	0,3	90	9	2	1	1	2,5	8,0	20,0
Pilot	D&S	24.05.2017	5	1870	2	0,4	90	9	2	1	1	2,5	8,0	20,0
Pilot	D&S	30.05.2017	4	1868	2	0,5	90	9	2	1	1	2,5	8,0	20,0
Pilot	D&S		4	1866	2	0,5								
Pilot	D&S	10.06.2017	4	1864	2	0,5	90	9	2	3	1	2,5	2,7	6,7
Pilot	D&S	16.06.2017	5	1861	3	0,6	80	9	2	3	1	2,5	2,4	5,9
Pilot	D&S	22.06.2017	5	1860	1	0,2	80	9	2	3	1	2,5	2,4	5,9
Pilot	D&S	27.06.2017	4	1858	2	0,5	80	9	2	3	1	2,5	2,4	5,9
Pilot	D&S	03.07.2017	5	1856	2	0,4	75	9	2	3	1	2,5	2,2	5,6
Pilot	D&S	06.07.2017	3	1854	2	0,7	80	9	2	3	1	2,5	2,4	5,9
Pilot	D&S	14.07.2017	7	1852	2	0,3	80	9	2	3	1	2,5	2,4	5,9
Pilot	D&S	20.07.2017	5	1851,5	0,5	0,1	80	9	2	3	1	2,5	2,4	5,9
Pilot	D&S	11.08.2017	19	1851	0,5	0,0	80	9	2	3	1	2,5	2,4	5,9
Pilot	D&S	17.08.2017	5	1849	2	0,4	70	9	2	3	1	2,5	2,1	5,2
Pilot	D&S	21.08.2017	3	1848	1	0,3	55	9	2	3	1	2,5	1,6	4,1
Pilot	D&S	24.08.2017	3	1846	2	0,7	44	12	2	3	1	2,5	1,0	2,4
Pilot	D&S	29.08.2017	4	1844	2	0,5	60	9	2	3	1	2,5	1,8	4,4
Crown	D&S			1919,5										
Crown	D&S	30.08.2017	1	1918	1,5	1,5	80	9	2	1	0,66	2,5	4,7	17,8
Crown	D&S	31.08.2017	1	1917	1	1,0	80	9	2	1	0,66	2,5	4,7	17,8
Crown	D&S	02.09.2017	1	1916	1	1,0	85	9	2	1	0,66	2,5	5,0	18,9
Crown	D&S	02.09.2017	1	1915	1	1,0	80	12	2	1	0,66	2,5	3,5	13,3
Crown	D&S	05.09.2017	1	1914	1	1,0	80	12	2	1	0,66	2,5	3,5	13,3
Crown	D&S	05.09.2017	1	1912	2	2,0	85	12	2	1	0,66	2,5	3,7	14,2
Crown	D&S	06.09.2017	1	1911	1	1,0	85	12	2	1	0,66	2,5	3,7	14,2
Crown	D&S	07.09.2017	1	1910	1	1,0	85	12	2	1	1	2,5	5,7	14,2
Crown	D&S	08.09.2017	1	1909	1	1,0	85	12	2	1	1	2,5	5,7	14,2
Crown	D&S	11.09.2017	1	1908	1	1,0	85	12	2	1	1	2,5	5,7	14,2
Crown	D&S	12.09.2017	1	1906	2	2,0	75	9	2	1	1	2,5	6,7	16,7
Crown	D&S	13.09.2017	1	1905	1	1,0	80	9	2	1	1	2,5	7,1	17,8
Crown	D&S	15.09.2017	2	1904	1	0,5	80	9	2	1	1	2,5	7,1	17,8
Crown	D&S	19.09.2017	3	1901	3	1,0	80	9	2	1	1	2,5	7,1	17,8

Tabell IFL fortsettelse

Pelnummer	Sprekkesett K1				Sprekkesett K2				Sprekkesett K3				Tilfeldige	
	Dip	Dir	Normalt	//	Dip	Dir	Normalt	//	Dip	Dir	Normalt	//	Dip	Dir
1928														
1924	40	200			50	340			70	270				
1922,5														
1918	50	220	1		85	140			65	310		2,00		
1914	40	230			70	30	1		70	260				
1906	50	245			60	340			80	80				
1902,5	70	90		2	90	160			40	120				
1898	45	270			70	310		2	70	220	1			
1896	35	220			70	240			70	310		2,00		
1893,5	35	230			75	250			70	320				
1890	45	250			60	230			50	340				
1887,5	50	250			70	220	1		65	350				
1884	50	220	1		70	330			40	70				
1882,5	50	230			70	330			45	65				
1880	70	140			60	230			80	260				
1878	50	240			70	120		2	70	20	1			
1876	60	220	1		80	100		2	70	360				
1873,5	90	120		2	60	100		2	80	180	1			
1872	80	80			50	200	1		90	40	1			
1870	20	150			70	280		2	70	330				
1868	30	200			70	250			60	330				
1866														
1864	4	210			80	280		2	60	360				
1861	40	240			80	280		2	70	20	1			
1860	50	220	1		70	290		2	60	10	1			
1858	45	230			90	120		2	70	10	1			
1856	45	240			70	290		2	70	360				
1854	45	230			70	270			70	10	1			
1852	45	230			80	100		2	60	360				
1851,5	50	220	1		75	90		2	65	340				
1851	50	220	1		75	80			60	330				
1849	40	250			70	100		2	60	350				
1848	40	240			70	80			65	340				
1846	50	270			50	70			70	350				
1844	60	220	1		50	20	1		60	350				
1919,5														
1918	45	230			60	110		2	60	360				
1917	50	230			70	90		2	50	360				
1916	80	90		2	50	170			80	350				
1915	45	240			50	100		2	50	340			70	280
1914	45	240			60	80			60	360			60	270
1912	45	220	1		60	80			60	360			60	270
1911	45	230			60	90		2	60	350			60	260
1910	45	220	1		60	80			60	330			60	290
1909	50	230			60	90		2	60	340			60	290
1908	50	240			60	80			65	330			60	280
1906	40	230			60	220	1		70	320				
1905	50	220	1		70	240			70	320				
1904	90	180	1		80	80			70	320				
1901	60	240			45	80			50	360				

Tabell IFL Fortsettelse

Pelnummer	Bergartskvalitet	Bergartstype	Sprekkesett	Mineralfyll	Vann
1928					
1924	Very good rock quality.	Gneiss and pegmatite dykes.	Three joint sets.		No water inflow.
1922,5					
1918	Very good rock quality.	Gneiss and quartz veins.	Three joint sets.		No water inflow.
1914	Very good rock quality.	Gneiss.	Three joint sets.		No water inflow drops from left shoulder.
1906	Very good rock quality.	Gneiss.	Three joint sets.		No water inflow.
1902,5	Good rock quality.	Gneiss.	Three joint sets.		No water inflow.
1898	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite	Three joint sets.		No water inflow.
1896	Very good rock quality.	Gneiss and pegmatite	Three joint sets.		No water inflow.
1893,5	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite	Three joint sets.		No water inflow.
1890	Very good rock quality.	Gneiss and pegmatite	Three joint sets.		No water inflow.
1887,5	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite	Three joint sets.		No water inflow.
1884	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite	Three joint sets.	Some sand/clay in k1	No water inflow.
1882,5	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite	Three joint sets.		No water inflow.
1880	Good rock quality.	Gneiss.	Three joint sets.		No water inflow.
1878					
1876	Very good rock quality.	Gneiss, diabase and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.		No water inflow.
1873,5	Very good rock quality.	Gneiss, diabase and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.		No water inflow.
1872	Very good rock quality.	Gneiss, diabase and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.		No water inflow.
1870	Very good rock quality.	Gneiss, diabase and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.		No water inflow.
1868	Very good rock quality.	Gneiss, diabase and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.		No water inflow.
1866					
1864	Very good rock quality.	Gneiss, pegmatite dykes and little areas of brecciated gneiss.	Three joint sets.	Clay infill in K3 fractures	No water inflow.
1861	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite	Three joint sets.	Clay infill in K3 fractures	No water inflow.
1860	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite	Three joint sets.	Clay infill in K3 fractures	No water inflow.
1858	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite	Three joint sets.	Clay infill in K3 and K2 fractures.	No water inflow.
1856	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite	Three joint sets.	Clay infill in K3 and K2 fractures.	No water inflow.
1854	Good rock quality.	Gneiss, pegmatite dykes and little	Three joint sets.	Clay infill in K3 and K2 fractures.	No water inflow.

		areas of brecciated gneiss.			
1852	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite	Three joint sets.	Clay infill in K3 and K2 fractures.	No water inflow.
1851,5	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite	Three joint sets.	Clay infill in K3 fractures	No water inflow.
1851	Good rock quality.	Gneiss.	Three joint sets.	Clay infill in K2.	No water inflow.
1849	Good rock quality.	Gneiss and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.	Clay infill in K2/K3 fractures.	No water inflow.
1848	Good rock quality.	Gneiss and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.	Clay infill in K2/K3 fractures.	No water inflow.
1846	Fair rock quality.	Gneiss and minor pegmatite dykes.	Three joint sets plus random.	Clay infill in K1/K2 fractures.	No water inflow.
1844	Fair rock quality.	Gneiss.	Three joint sets.	Clay infill in K3 fractures. Layer of grey/brown clay filling one K3 fracture, aprox 30 cms width.	No water inflow.
1919,5					
1918	Good rock quality.	Gneiss.			Water inflow from both shoulders.
1917	Good rock quality.	Gneiss.	Three joint sets.		Water inflow from both shoulders.
1916	Good rock quality.	Gneiss.	Three joint sets.		
1915	Good rock quality.	Gneiss.	Three joint sets plus random joints.		Water inflow from right shoulder.
1914	Good rock quality.	Gneiss.	Three joint sets plus random joints.		Water inflow from right shoulder.
1912	Good rock quality.	Gneiss.	Three joint sets plus random joints.		Water inflow from right shoulder.
1911	Very good rock quality.	Gneiss.	Three joint sets plus random joints.		Water inflow from right shoulder.
1910	Very good rock quality.	Gneiss.	Three joint sets plus random joints.		No water inflow.
1909	Very good rock quality.	Gneiss.	Three joint sets plus random joints.		No water inflow.
1908	Very good rock quality.	Gneiss.	Three joint sets plus random joints.		No water inflow.
1906	Good rock quality.	Gneiss, pegmatite and quartz veins.	Three joint sets.		No water inflow.
1905	Good rock quality.	Gneiss, pegmatite and quartz veins.	Three joint sets.		No water inflow.
1904		Gneiss.	Three joint sets.		
1901	Very good rock quality.	Gneiss, syenite and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.		No water inflow.

Vedlegg N-2 Tabell for kartlegging på OFL

Profil	Metode	Dato	dager	Pelnummer	Inndrift	[m/dag]	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Q'
Pilot	D&B	23.01.2017		1893	3		85	9	2	1	1	1	18,9	18,9
Pilot	D&S	02.02.2017	8	1888	5	0,6	85	9	2	1	1	1	18,9	18,9
Pilot	D&S	16.02.2017	12	1883	5	0,4	85	9	2	1	1	1	18,9	18,9
Pilot	D&S	28.02.2017	10	1876	7	0,7	80	9	2	1	1	1	17,8	17,8
Pilot	D&S	14.03.2017	12	1871	5	0,4	80	9	2	1	1	1	17,8	17,8
Pilot	D&S	07.04.2017	21	1865	6	0,3	80	9	2	1	1	1	17,8	17,8
Top heading	D&B	18.04.2017		1893-1889	4		85	9	2	1	1	1	18,9	18,9
Top heading	D&B	21.04.2017	3	1885	4	1,3	85	9	2	1	1	1	18,9	18,9
Top heading	D&B	25.04.2017	3	1884	1	0,3	80	9	2	1	1	1	17,8	17,8
Top heading	D&B	02.05.2017	5	1881	3	0,6	80	9	2	1	1	1	17,8	17,8
Crown u Alna	D&S	01.09.2017		1876,5	4,5		90	9	2	1	1	2,5	8,0	20,0
Crown u Alna	D&S	05.09.2017	3	1875	1,5	0,5	85	9	2	1	1	2,5	7,6	18,9
Crown u Alna	D&S	06.09.2017	1	1874	1	1,0	90	9	2	1	1	2,5	8,0	20,0
Crown u Alna	D&S	08.09.2017	2	1873	1	0,5	75	9	2	1	1	2,5	6,7	16,7
Crown u Alna	D&S	12.09.2017	3	1872	1	0,3	85	9	2	1	0,5	2,5	3,8	18,9
Crown u Alna	D&S	13.09.2017	1	1870	2	2,0	75	9	2	1	0,5	2,5	3,3	16,7
Crown u Alna	D&S	15.09.2017	2	1868	2	1,0	70	9	2	1	0,5	2,5	3,1	15,6
Crown u Alna			3	1865	3	1,0								
Under alna	D&S	22.09.2017	3	1863	2	0,7	80	9	2	1	1	2,5	7,1	17,8
Under alna	D&S	25.09.2017	2	1862	1	0,5	75	9	2	1	1	2,5	6,7	16,7
Under alna	D&S	29.09.2017	4	1861	1	0,3	80	9	2	1	1	2,5	7,1	17,8
Under alna	D&S	05.10.2017	5	1859	2	0,4	75	9	2	1	1	2,5	6,7	16,7
			2	1857	2	1,0								
Under alna	D&S	10.10.2017	2	1856	1	0,5	85	9	2	1	1	2,5	7,6	18,9
OFL n	D&S	17.10.2017	6	1855	1	0,2	75	9	2	1	1	2,5	6,7	16,7
OFL n	D&S	19.10.2017	2	1854	1	0,5	80	9	2	1	1	2,5	7,1	17,8
OFL n	D&S	24.10.2017	4	1853	1	0,3	80	9	2	1	1	2,5	7,1	17,8
OFL n	D&S	26.10.2017	2	1851,5	1,5	0,8	85	9	2	1	1	2,5	7,6	18,9
OFL n	D&S	04.11.2017	8	1850,5	1	0,1	85	9	2	1	1	2,5	7,6	18,9
OFL n	D&S	09.11.2017	4	1848,5	2	0,5	85	9	2	2	1	2,5	3,8	9,4
OFL n	D&S	16.11.2017	6	1846	2,5	0,4	85	9	2	2	1	2,5	3,8	9,4
OFL n	D&S	21.11.2017	4	1845,5	0,5	0,1	85	9	2	1	1	2,5	7,6	18,9
OFL n	D&S	25.11.2017	4	1844,5	1	0,3	85	9	2	2	1	2,5	3,8	9,4
OFL n	D&S	30.11.2017	4	1843	1,5	0,4	85	9	2	2	1	2,5	3,8	9,4
	D&S	02.12.2017	2	1842	1	0,5	80	9	2	2	1	2,5	3,6	8,9
	D&S	08.12.2017	5	1841	1	0,2	80	9	2	2	1	2,5	3,6	8,9
	D&S	09.01.2018		1839	2		85	9	2	3	1	2,5	2,5	6,3
	D&S	13.01.2018	4	1837	2	0,5	80	9	2	3	1	2,5	2,4	5,9
	D&S	23.01.2018	8	1835,5	1,5	0,2	80	9	2	3	1	2,5	2,4	5,9
OFL sd	D&B	13.11.2017		1820-1821,5	1,5		85	9	2	2	1	2,5	3,8	9,4
OFL sd	D&S	16.11.2017	3	1823	1,5	0,5	80	9	2	2	1	2,5	3,6	8,9
OFL sd	D&S	28.11.2017	10	1824	1	0,1	80	9	2	2	1	2,5	3,6	8,9
OFL sd	D&S	01.12.2017	3	1826	2	0,7	80	9	2	2	1	2,5	3,6	8,9
OFL sd	D&S	06.12.2017	4	1828	2	0,5	85	9	2	2	1	2,5	3,8	9,4
OFL sd	D&S	12.12.2017	5	1829	1	0,2	85	9	2	2	1	2,5	3,8	9,4
OFL sd	D&S	21.12.2017	8	1830	1	0,1	90	9	2	2	1	2,5	4,0	10,0
OFL sd	D&S	10.01.2018		1832	2		90	9	2	2	1	2,5	4,0	10,0

Tabell OFL Fortsettelse

Pelnummer	Sprekkesett K1				Sprekkesett K2				Sprekkesett K3					
	Dip	Dir	Normalt	//	Dip	Dir	Normalt	//	Dip	Dir	Normalt	//		
1896														
1893	50	240			70	20	1		65	320				
1888	50	230			50	30	1		55	310			2,00	
1883	55	230			60	350			65	300			2,00	
1876	60	230			60	95		2	70	350				
1871	60	240			60	100		2	70	340				
1865	55	230			50	70			65	350				
1893														
1889														
1885														
1884														
1881														
1876,5	90	90		2	30	70			90	190	1			
1875	90	120		2	80	180	1		90	200	1			
1874	90	100		2	80	20	1		40	80				
1873	60	240			40	70			70	290			2,00	
1872	80	70			70	110		2	70	200	1			
1870	45	230			60	260			60	310			2,00	
1868	50	240			50	90		2	45	360				
1865														
1863	50	300		2	50	80			45	360				
1862	60	250			50	90		2	50	10	1			
1861	50	240			50	100		2	50	360				
1859	50	230			60	70			50	350				
1857														
1856	90	100		2	30	270			40	120				
1855	45	230			70	100		2	50	360				
1854	45	240			70	90		2	50	350				
1853	50	230			60	100		2	60	360				
1851,5	50	240			60	90		2	60	350				
1850,5	45	220	1		70	290		2	50	340				
1848,5	45	220	1		70	290		2	70	20	1			
1846	45	230			60	300		2	60	10	1			
1845,5	45	230			60	300		2	60	10	1			
1844,5														
1843														
1842	45	230			70	280		2	50	360				
1841	45	220	1		60	280		2	45	360				
1839	45	220	1		60	80			45	360				
1837	60	250			60	90		2	45	360				
1835,5	80	200	1		90	280		2	30	290				
1820														
1821,5														
1823	45	230			50	80			50	360				
1824	45	240			70	90		2	50	350				
1826	45	240			60	120		2	60	10	1			
1828	45	230			70	90		2	60	360				
1829	45	250			60	110		2	65	360				
1830														
1832	75	20	1		20	100			90	90			2,00	
1833	60	240			80	90		2	50	360				

Tabell OFL fortsettelse

Pelnummer	Bergartskvalitet	Bergartstype	Sprekkesett	Mineralfyll	Vann
1893	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite.	3 joint sets.		No water inflow.
1888	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite.	3 joint sets.		No water inflow, small water from face
1883	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite.	3 joint sets.		No water inflow, drops from crown and right shoulder.
1876	Good rock quality.	Gneiss pegmatite dykes and quartz veins.	3 joint sets.		No water inflow, drops from left shoulder at the face.
1871	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite dykes.	3 joint sets.		No water inflow, drops from left shoulder.
1865	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite dykes.	3 joint sets.		No water inflow, drops from left shoulder and wall.
1889	Good rock quality.	Gneiss.	3 joint sets.		No water inflow.
1885	Good rock quality.	Gneiss.	3 joint sets.		No water inflow.
1884	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite dykes.	3 joint sets.		No water inflow.
1881	Good rock quality.	Gneiss and pegmatite dykes.	3 joint sets.		No water inflow.
1876,5	Very good rock quality.	Gneiss and Syenite.	Three joint sets.		No water inflow.
1875	Very good rock quality.	Gneiss, pegmatite and syenite.	Three joint sets.		No water inflow.
1874	Very good rock quality.	Gneiss, pegmatite and syenite.	Three joint sets.		No water inflow.
1873	Good rock quality.	Gneiss, pegmatite and syenite.	Three joint sets.		No water inflow, just some drops from crown.
1872	Good rock quality.	Gneiss, and pegmatite.	Three joint sets.		Water inflow from Alna river in crown.
1870	Good rock quality.	Gneiss, and pegmatite.	Three joint sets.		Water inflow from Alna river in crown.
1868	Good rock quality.	Gneiss, and pegmatite.	Three joint sets.		Water inflow from Alna river in right shoulder.
1865					
1863	Good rock quality.	Gneiss, syenite and quartz veins.	Three joint sets.		No water inflow.
1862	Good rock quality.	Gneiss, syenite and pegmatite.	Three joint sets.		No water inflow.
1861	Very good rock quality.	Gneiss, syenite and pegmatite.	Three joint sets.		No water inflow.
1859	Very good rock quality.	Gneiss, syenite and pegmatite.	Three joint sets.		No water inflow.
1857					
1856	Very good rock quality.	Gneiss, syenite and pegmatite.	Three joint sets.		No water inflow.
1855	Very good rock quality.	Gneiss, syenite and pegmatite.	Three joint sets.		No water inflow.
1854	Very good rock quality.	Gneiss, syenite and pegmatite.	Three joint sets.		No water inflow.
1853	Very good rock quality.	Gneiss, syenite and pegmatite.	Three joint sets.		No water inflow.
1851,5	Very good rock quality.	Gneiss, syenite and pegmatite.	Three joint sets.		No water inflow.
1850,5	Very good rock quality.	Gneiss, syenite and pegmatite.	Three joint sets.		No water inflow.
1848,5	Very good rock quality.	Gneiss, syenite and pegmatite.	Three joint sets.	Sand/clay infill in K3 joints	No water inflow.

1846	Very good rock quality.	Gneiss, and minor pegmatite.	Three joint sets.	Sand/clay infill in K3 joints.	No water inflow.
1845,5	Very good rock quality.	Gneiss, amphibolite, quartz and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.		No water inflow.
1844,5	Very good rock quality.	Gneiss, quartz and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.	Sand/clay infill in K3 joints.	No water inflow.
1843	Very good rock quality.	Gneiss, quartz and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.	Sand/clay infill in K3 joints.	No water inflow.
1842	Very good rock quality.	Gneiss, quartz and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.	Sand/clay infill in K3 joints.	No water inflow.
1841	Very good rock quality.	Gneiss and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.	Sand/clay infill in K3 joints.	No water inflow.
1839	Very good rock quality.	Gneiss and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.	Sand/clay infill in K3 joints.	No water inflow.
1837	Very good rock quality.	Gneiss and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.	Clay infill in K1 joints.	No water inflow.
1835,5	Very good rock quality.	Gneiss and minor pegmatite dykes.	Three joint sets.	Clay infill in K1 joints.	No water inflow.
1821,5	Very good rock quality.	Gneiss, amphibolite and minor pegmatite dykes.	3 joint sets.	Some sand/clay infill in K3 joints.	No water inflow.
1823	Very good rock quality.	Gneiss, amphibolite and minor pegmatite dykes.	3 joint sets.	Some sand/clay infill in K3 joints.	No water inflow.
1824	Very good rock quality.	Gneiss, amphibolite and minor pegmatite dykes.	3 joint sets.	Sand/clay infill in some K3 joints.	No water inflow.
1826	Very good rock quality.	Gneiss and minor pegmatite dykes.	3 joint sets.	Sand/clay infill in some K3 joints.	No water inflow.
1828	Very good rock quality.	Gneiss and minor pegmatite dykes.	3 joint sets.	Sand/clay infill in K3 joints.	No water inflow.
1829	Very good rock quality.	Gneiss and minor pegmatite dykes.	3 joint sets.	Sand/clay infill in K3 joints.	No water inflow.
1830	Very good rock quality.	Gneiss and minor pegmatite dykes.	3 joint sets.	Sand/clay infill in K2 joints.	No water inflow.
1832	Very good rock quality.	Gneiss and minor pegmatite dykes.	3 joint sets.	Sand/clay infill in K1 joints.	No water inflow.
1833	Very good rock quality.	Gneiss and pegmatite dykes.	3 joint sets.	Sand/clay infill in K3 joints.	No water inflow.

Vedlegg N-3 Tabell for kartlegging på IOL

Metode	Dato	dager	Pelnummer	Inndrift	[m/dag]	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q-verdi	Q'
			1781,5										
D&S	02.12.2016		1779,6	1,9	#DIV/0!	70	9	2	2	1	2,5	3,1	7,8
D&S	08.12.2016	5	1777,6	2	0,4	65	6	2	2	1	2,5	4,3	10,8
D&S	13.12.2016	4	1775,7	1,9	0,5	70	6	2	2	1	2,5	4,7	11,7
D&S	04.01.2017	3	1773,7	2	0,7	60	9	2	2	1	2,5	2,7	6,7
D&S	09.01.2017	4	1772	1,7	0,4	55	9	2	3	1	2,5	1,6	4,1
D&S	11.01.2017	2	1770,5	1,5	0,8	45	12	2	3	1	2,5	1,0	2,5
D&S	14.01.2017	3	1769,5	1	0,3	60	9	2	3	1	2,5	1,8	4,4
D&S	17.01.2017	2	1768,5	1	0,5	55	12	2	3	1	2,5	1,2	3,1
D&S	21.01.2017	4	1768	0,5	0,1	65	9	2	3	1	2,5	1,9	4,8
D&S	24.01.2017	2	1767,5	0,5	0,3	55	9	2	3	1	2,5	1,6	4,1
D&S	27.01.2017	3	1766,5	1	0,3	65	9	2	3	1	2,5	1,9	4,8
D&S	28.01.2017	1	1765,5	1	1,0	55	9	2	3	1	2,5	1,6	4,1
D&S	02.02.2017	4	1763,5	2	0,5	65	9	2	3	1	2,5	1,9	4,8
D&S	06.02.2017	3	1762,5	1	0,3	60	9	2	3	1	2,5	1,8	4,4
D&S	07.02.2017	1	1761,5	1	1,0	65	9	2	3	1	2,5	1,9	4,8
D&S	09.02.2017	2	1760,5	1	0,5	60	9	2	3	1	2,5	1,8	4,4
D&S	10.02.2017	1	1759,5	1	1,0	60	9	2	3	1	2,5	1,8	4,4
D&S	15.02.2017	4	1758,5	1	0,3	65	9	2	3	1	2,5	1,9	4,8
D&S	16.02.2017	1	1757,5	1	1,0	60	9	2	3	1	2,5	1,8	4,4
D&S	20.02.2017	3	1756,5	1	0,3	60	9	2	3	1	2,5	1,8	4,4
D&S	21.02.2017	1	1755,5	1	1,0	65	9	2	3	1	2,5	1,9	4,8
D&S	24.02.2017	3	1754,5	1	0,3	65	9	2	2	1	2,5	2,9	7,2
D&S	27.02.2017	2	1753,5	1	0,5	65	9	2	2	1	2,5	2,9	7,2
D&S	02.03.2017	3	1752,5	1	0,3	65	9	2	2	1	2,5	2,9	7,2
D&S	04.03.2017	2	1751,5	1	0,5	65	9	2	1	1	1	14,4	14,4
D&S	10.03.2017	5	1749,5	2	0,4	80	9	2	3	1	1	5,9	5,9
D&S	14.03.2017	3	1748	1,5	0,5	80	9	2	3	1	1	5,9	5,9
D&S	17.03.2017	3	1746	2	0,7	75	9	2	1	1	1	16,7	16,7
D&S	20.03.2017	2	1744,5	1,5	0,8	90	6	2	1	1	1	30,0	30,0
D&S	24.03.2017	4	1742,5	2	0,5	80	9	2	1	1	1	17,8	17,8
D&S	30.03.2017	5	1740	2,5	0,5	80	9	2	1	1	1	17,8	17,8
D&S	06.04.2017	6	1736,5	3,5	0,6	80	9	2	1	1	1	17,8	17,8
D&S	18.04.2017	7	1732,5	4	0,6	85	9	2	1	1	1	18,9	18,9
D&S	22.04.2017	4	1729	3,5	0,9	80	9	2	1	1	1	17,8	17,8
D&S	26.04.2017	3	1725,5	3,5	1,2	80	9	2	1	1	1	17,8	17,8

Pelnummer	Sprekkesett K1				Sprekkesett K2				Sprekkesett K3			
	Dip	Dir	Normalt	//	Dip	Dir	Normalt	//	Dip	Dir	Normalt	//
1781,5												
1779,6	55	200	1		50	280		2	70	40	1	
1777,6	45	275		2	75	275		2				
1775,7	40	40			80	160						
1773,7	60	20	1		85	220			50	80		2,00
1772	75	30	1		80	200	1		60	70		
1770,5	75	40			85	190	1		60	50		
1769,5	45	300		2	60	360	1		80	90		2,00
1768,5	50	300		2	75	360	1		70	80		2,00
1768	40	280			70	360	1		50	120		2,00
1767,5	45	280		2	75	10	1		40	150		
1766,5	80	320			85	140			40	260		
1765,5	50	270		2	75	10	1		45	130		
1763,5	80	160			70	20	1		80	100		2,00
1762,5	45	220			90	270		2	60	10	1	
1761,5	45	230			90	270		2	60	10	1	
1760,5	45	250			90	70			50	10	1	
1759,5	40	250			80	260			50	10	1	
1758,5	30	240			90	270		2	60	340		
1757,5	70	240			50	100		2	60	360	1	
1756,5	60	230			55	80		2	60	350		
1755,5	40	270			45	80		2	50	330		
1754,5	40	280			40	90			60	330		
1753,5	55	270		2	75	80		2	60	340		
1752,5	55	280		2	75	90		2	65	330		
1751,5	50	290		2	75	100		2	60	330		
1749,5	40	250			90	280		2	70	330		
1748	50	250			90	90		2	70	330		
1746	60	240			50	280		2	60	350		
1744,5	70	90		2	80	180	1					
1742,5	55	240			70	300		2	60	350		
1740	55	250			70	310			65	340		
1736,5	55	260			65	280		2	60	350		
1732,5	60	110		2	70	280		2	80	170	1	
1729	45	240			70	330			80	90		2,00
1725,5	50	230			60	340			65	110		2,00

Tabell for kartlegging på IOL fortsettelse

Pelnummer	Bergartskvalitet	Bergartstype	Sprekkesett	Mineralfyll	Vann
1781,5					
1779,6	Good rock quality	Gneiss with amfibolite	3 fracture sets	Small sand/clay infill	Some water from the left bottom
1777,6	Fair/good rock quality	Gneiss with amfibolite	2 fracture sets plus random	Small sand/clay infill	
1775,7	Fair rock quality	Gneiss with amfibolite	2 fracture sets plus random	Small sand/clay infill	
1773,7	Fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Sand/clay infill	
1772	Fair/bad rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Sand/clay infill. Left wall is better than the right	No water inflow
1770,5	Fair/bad rock quality	Gneiss	3 fracture sets plus random	Clay infill. Left wall is better than the right	No water inflow
1769,5	Fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Clay infill	No water inflow
1768,5	Fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets plus random	Clay infill	No water inflow
1768	Fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets plus random	Clay infill	No water inflow
1767,5	Fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets plus random	Clay infill	No water inflow
1766,5	Fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Clay infill	No water inflow
1765,5	Fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Clay infill	No water inflow
1763,5	Bad/fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Clay infill	No water inflow
1762,5	Fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Clay infill. 0,5 meters of grey clay in K3 fracture	No water inflow
1761,5	Fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Clay infill	No water inflow
1760,5	Fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Clay infill in K3 fractures	No water inflow
1759,5	Fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Clay infill in K3 fractures	No water inflow
1758,5	Fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Clay infill in K3 fractures	No water inflow
1757,5	Fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Clay infill in K3 fractures	No water inflow
1756,5	Fair rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Clay infill in K3 fractures	No water inflow
1755,5	Good rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Some clay infill in K3 fractures	No water inflow
1754,5	Good rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Some clay	No water inflow
1753,5	Good rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Small sand/clay	No water inflow
1752,5	Good rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Small sand/clay	No water inflow
1751,5	Good rock quality	Gneiss	3 fracture sets		No water inflow
1749,5	Good rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Clay infill in some K3 fractures	No water inflow
1748	Good rock quality	Gneiss	3 fracture sets	Clay infill in some K3 fractures	No water inflow
1746	Good rock quality	Gneiss and minor pegmatite dykes	3 fracture sets		No water inflow
1744,5	Good rock quality	Gneiss and minor pegmatite dykes	2 fracture sets plus random		No water inflow
1742,5	Good rock quality	Gneiss and minor pegmatite dykes	3 joint sets		No water inflow
1740	Good rock quality	Gneiss and minor pegmatite dykes	3 joint sets		No water inflow
1736,5	Good rock quality	Gneiss and pegmatite	3 joint sets		No water inflow
1732,5	Good rock quality	Gneiss and pegmatite	3 joint sets		No water inflow.
1729	Good rock quality	Gneiss and minor pegmatite dykes	3 joint sets		No water inflow.
1725,5	Good rock quality	Gneiss and minor pegmatite dykes	3 joint sets		No water inflow. Drops from the crown.

Vedlegg N-4 Tabell for tunnelprogresjonsrapporter fra IOL

	Januar	Januar	Januar	Januar	Februar	Februar	Februar	Februar
Chainage	2873	2874,5	2876,5	2877,5	2880	2881,5	2884,5	2886,5
Inndrift (m)	1,5	1,5	2	1	1,5	1,5	3	2
Uke	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Navigate+Jumbo Placement	3	2	2	1	2	1,5	2,5	1,5
2 Drill For Blast	0	2,5	0	0	0	0	0	3
3 Drill For Split	19,5	27	18,5	28	26,5	27	21	19,5
4 Waiting for Explosives	0	0	0	2	0	0	0	0
5 Splitting	39	26,5	26	19,5	39,5	4	41,5	14,5
6 Charging	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Blast & Ventilation	0	0	0	0	0	0	0	0
8 Mucking	8,5	4,5	3,5	5,5	4,5	2,5	5	3,5
9 Scaling + Cleaning	8	4,5	10	11	5,5	1	5,5	12
10 Scaling + Cleaning	0	0	0	0	0	0	0	0
11 Survey & Mapping	1	4	1,5	2,5	1,5	1,5	4	2,5
12 Shotcrete+Cleaning	3	4,5	4	5,5	5,5	4	7	5
13 Rockbolt	0,5	13	22,5	20,5	17,5	11	11,5	33
	0	0	0	0	0	0	0	0
14 Drill Probe Holes	0	0	0	0	0	0	4	0
15 Check Water Inflow	0	0	0	0	0	0	0	0
16 Drill Grout Screen	0	0	0	0	0	0	0	0
17 Packers & Water Inflow	0	0	0	0	0	0	0	0
18 Grouting MFC	0	0	0	0	0	0	0	0
19 Drill Control Holes	0	0	0	0	0	0	0	0
20 Drill Second Grout Screen	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
21 Plant Movement	0	0	0	0	0	0	0	0
22 Services Pipes	0	0	0	0	0	2	0	0
23 Services: Ventilation	0	0	0	0	0	0	0	0
24 Services: Electrics	0	1	0	0	0,5	0	0	0
25 Lifting Works	0	0	0	0	0	0	0	0
26 Maintenance	0	0	0	0	0	0	0	0
27 Concrete Works	0	0	0	0	0	0	0	0
28 Miscellaneous	3,5	4	1	13,5	3,5	4	5,5	9
	0	0	0	0	0	0	0	0
29 Delays	0	3	35,5	7,5	0	3,5	5	5,5
30 Core Dilling	29,5	43	11	13,5	7	39,5	24,5	28,5
31 Timer	115,5	139,5	135,5	130	113,5	101,5	137	137,5
	0	0	0	0	0	0	0	0
Q-verdi	1,80	1,47	0,88	0,80	0,80	0,73	0,83	0,80

Fortsettelse av tabell for tunnelprogresjonsrapporter fra IOL

	Mars	Mars	Mars	Mars	Mars	Mai	Mai	Mai	Mai	Juni	Juni	sum
Chainage	2889,5	2892,5	2894,5	2897,5	2899,5	2901,5	2903,5	2905,5	2908,5	2910,5	0	
Inndrift (m)	2	3	2	3	2	2	2	2	3	2	1,2	38,2
Uke	9	10	11	12	13	19	20	21	22	23	24	
1	1	1,5	1,5	2	1,5	0,5	4	2,5	0,5	0,5	1	33
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8,5
3	20,5	23,5	18,5	39,5	22	16	28,5	23	20	27	15,5	444
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
5	14,5	5,5	34	32,5	8,5	29,5	15,5	25,5	31,5	39,5	18,5	470,5
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
8	8	5	1,5	6	5	5	3,5	4	7	8,5	5,5	104,5
9	31	34,5	8,5	7,5	39,5	10,5	7	12,5	11	7,5	4,5	240,5
10	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5	11
11	3	3	2,5	4,5	3	1,5	1,5	3	3	2	0,5	57
12	8	9	6	8	8,5	3,5	7	6	8,5	5,5	13	133,5
13	15	28	18,5	12,5	21	8	28,5	10	8	23,5	34,5	350
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	1,5	13,5	0	0	0	0	0	33
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
23	0	0	1	0	0	7,5	0	0	0	8	0	39,5
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25,5
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
26	0	0	0	0	0	8,5	0	0	0	5	0	39,5
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
28	10	5,5	5,5	0	17	4	4,5	19,5	2	1	1,5	142,5
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	2	3,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94,5
30	25	10	43	30,5	16	11	15,5	4,5	23	8	0	383
31	138	129	140,5	143	144	119	115,5	110,5	114,5	136	96	2396
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q-verdi	0,80	0,82	0,70	0,77	0,80	0,60	0,40	0,45	0,60	0,70	0,80	0,82

Vedlegg O Geologisk kartlegging fra IFL pel 1866-1854 (Condotte)

